

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Chladič Ar**

**Cooler of Ar**

Student: Bc. Jakub Kulhánek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Kulháněk**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**  
Specializace: **20 Výrobní stroje a zařízení**  
Téma: **Chladič Ar**  
**Cooler of Ar**

### Zásady pro vypracování:

Pro potřebu laboratoří VŠB-TUO navrhnete chladič Ar. Při návrhu chladiče vycházejte ze stávajícího provedení zařízení. Pozornost zaměřte na možnost víceúčelového provedení chladiče. V případě jednoúčelového provedení předpokládejte napojení chladiče prostřednictvím M12. Průtok Ar chladičem předpokládejte na úrovni cca 34 litrů normálních za minutu a teplotu Ar na vstupu do chladiče cca 350 stupňů C.

### Proveďte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a potřebnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a hrubá stavební struktura.

2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.

3. Výrobní výkresovou dokumentaci jednoúčelového a víceúčelového chladiče.

Rozsah výtahu z rešerše z Diplomového projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 2A0.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.*

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.*

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka.*

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8.

*Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*

FS\_SME\_05\_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2013

.....

## Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.

- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

Plné jméno

Adresa trvalého pobytu:

Sedliště 240

Sedliště, 739 36

Česká Republika

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kulháněk, J. Chladič Ar. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-Technická universita Ostrava, 2013, 70s. Diplomová práce, vedoucí Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem chladiče argonu. V úvodní části – výtah z rešerše jsou popsány základní typy výměníků a možností uspořádání jejich teplosměnných ploch. Následuje technická zpráva složená z upřesněných požadavků na zařízení ve formě požadavkového listu, funkční struktury, morfologické matice, orgánové struktury a stavební struktury. V následujících kapitolách jsou uvedeny nezbytné tepelné technické výpočty. Na základě 3D modelu zařízení je provedena analýza rychlostních a tlakových polí v navrženém zařízení. Důraz je kladen na minimalizaci konstrukčních rozměrů chladiče.

## ANOTATION OF DIPLOMA THESIS

Kulháněk, J. Cooler of Ar. Ostrava: VŠB-Technical Faculty of mechanical engineering at the University of Ostrava, 2013, 70s. Diploma thesis, leader Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Diploma thesis deals with the design of cooler of Ar. In the introductory part - abstract of background research described basic types of heat exchangers and layout their heat surfaces. Followed by technical report consist of specified requirements in the form of requirements leaf, the functional structure, morphological matrix, organ structures and building structures. In the next chapter deals with the necessary thermally of technical calculations. Pursuant 3D device model is performed analysis of velocity and pressure fields in designed equipment. The emphasis is on minimizing construction dimensions.

## Obsah

Seznam použitých symbolů .....	3
1. Úvod .....	6
2. Výťah z literární rešerše .....	7
2.1. Výměník tepla .....	7
2.2. Trubkový výměník tepla .....	7
2.2.1. Výměník tepla s pevnými trubkovnicemi .....	7
2.2.2. Výměník tepla s plovoucí hlavou .....	8
2.2.3. Výměník tepla s U trubkami .....	9
2.2.4. Trubkový výměník typu trubka v trubce .....	9
2.3. Deskový výměník .....	10
2.4. Spirálové výměníky tepla .....	10
2.5. Uspořádání toku .....	11
3. Konstrukční návrh .....	12
3.1. Upřesnění požadavků .....	12
3.2. Technický proces .....	13
3.3. Funkční struktura .....	14
3.4. Orgánová struktura .....	16
3.5. Hrubá stavební struktura .....	20
3.6. Čistá stavební struktura .....	22
4. Výpočet .....	24
4.1. Teorie tepelného výpočtu výměníku .....	24
4.1.1. Rovnice pro vyjádření tepla sděleného prostupem .....	24
4.1.2. Rovnice součinitele prostupu tepla rovinnou stěnou .....	25
4.1.3. Rovnice součinitele prostupu tepla válcovou stěnou vztažený na délku plochy L .....	25
4.1.4. Rovnice pro výpočet součinitele přestupu tepla mezi ochrannou atmosférou (Ar) a válcovou plochou. ....	26
4.1.5. Součinitel přestupu tepla mezi válcovou plochou a vodou .....	27
4.1.6. Rovnice tepelné bilance .....	29
5. Výpočet teplosměnné plochy .....	30
5.1. Přepočet objemového průtoku ochranné atmosféry na skutečné podmínky .....	30
5.2. Výpočet rychlosti ochranné atmosféry v daných úsecích .....	31
5.3. Výpočet střední teploty a středního logaritmického spádu .....	32
5.3.1. Střední teplota ochranné atmosféry .....	33
5.3.2. Střední teplota vody .....	33

5.4.	Výpočet součinitele prostupu tepla mezi ochrannou atmosférou a válcovou plochou .....	34
5.5.	Výpočet součinitele prostupu tepla mezi válcovou plochou a vodou při šachovnicovém uspořádání .....	38
5.6.	Výpočet součinitele prostupu tepla mezi válcovou plochou a vodou při obdélníkovém uspořádání .....	43
5.7.	Určení členu $\Lambda_L$ .....	47
5.8.	Výsledný součinitel prostupu tepla .....	48
5.9.	Výsledný výpočet teplosměnné plochy .....	49
5.10.	Výpočet délky teplosměnné plochy .....	50
5.11.	Potřebné množství vody pro chlazení .....	50
6.	Tlakové ztráty ve výměníku .....	51
6.1.	Tlakové ztráty ochranné atmosféry .....	51
6.1.1.	Stanovení součinitele tření .....	51
6.1.2.	Výpočet tlakové ztráty třením .....	51
6.2.	Výpočet tlakových ztrát místními odpory .....	52
6.2.1.	Ztráta na vtoku s rozšířeným průřezem .....	52
6.2.2.	Celková tlaková ztráta .....	53
6.3.	Tlakové ztráty vody v potrubí s šachovnicovým uspořádáním válcových ploch .....	54
6.3.1.	Stanovení součinitele tření .....	54
6.3.2.	Výpočet tlakové ztráty třením .....	55
6.4.	Výpočet tlakových ztrát místními odpory .....	56
6.4.1.	Ztráta na vtoku s rozšířeným průřezem .....	56
6.4.2.	Výpočet ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90° .....	57
6.5.	Celková tlaková ztráta .....	58
6.6.	Tlakové ztráty vody v potrubí s obdélníkovým uspořádáním válcových ploch .....	58
6.6.1.	Výpočet tlakové ztráty třením .....	58
6.7.	Výpočet tlakových ztrát místními odpory .....	59
6.7.1.	Výpočet ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90° .....	59
6.8.	Celková tlaková ztráta .....	60
7.	Technický popis zařízení .....	61
8.	Závěr .....	65
9.	Seznam použité literatury .....	66
10.	Seznam obrázků .....	69
11.	Seznam příloh .....	70
	Přílohy .....	71

## Seznam použitých symbolů

a	m	Šířka kanálu
b	m	Výška kanálu
C	l	Konstanta
$c_{pH_2O}$	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Měrná tepelná kapacita vody
$c_{pAr}$	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Měrná tepelná kapacita ochranné atmosféry
$d_1$	m	Vstupní průměr do výměníku
$d_2$	m	Vnější průměr nahlížecího otvoru
$d_3$	m	Vstupní průměr do trubkovnice
$d_h$	m	Hydraulický průměr
$d_v$	m	Průměr vtoku
$d_{vně}$	m	Vnější průměr válcové plochy
$d_{vnitř}$	m	Vnitřní průměr válcové plochy
in	l	Počet trubek
$m_v$	$\text{Kg} \cdot \text{s}^{-1}$	Množství vody protékající výměníkem
$m_{OA}$	$\text{Kg} \cdot \text{s}^{-1}$	Množství ochranné atmosféry proudící výměníkem
n	l	Koeficient
$n_{k90}$	l	Počet kolen s ostrým ohybem 90°
k	$\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$	Součinitel prostupu tepla
$k_{1A}$	$\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$	Součinitel prostupu tepla první varianty
$k_{1B}$	$\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$	Součinitel prostupu tepla druhé varianty
$\Delta p_z$	Pa	Celková tlaková ztráta
$\Delta p_{zm}$	Pa	Celkové místní ztráty
$\Delta p_{ztr}$	Pa	Celkové ztráty třením
r	m	Poloměr válcové plochy
$\Delta t_v$	°C	Rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou vody
$\Delta t_{OA}$	°C	Rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou ochranné atmosféry
$\overline{\Delta t_{stř}}$	K	Střední logaritmický rozdíl teplot vody a ochranné atmosféry
$t_{OA-1}$	°C	Teplota ochranné atmosféry na vstupu
$t_{OA-2}$	°C	Teplota ochranné atmosféry na výstupu
$t_{v-1}$	°C	Teplota vody na vstupu



$t_{v-2}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota vady na výstupu
$t_{\text{stř} - 1}$	$^{\circ}\text{C}$	Střední teplota ochranné atmosféry
$t_{\text{stř} - 2}$	$^{\circ}\text{C}$	Střední teplota vody
$v_v$	$\text{ms}^{-1}$	Rychlost vody
$v_1$	$\text{ms}^{-1}$	Rychlost ochranné atmosféry v bodě 1
$v_2$	$\text{ms}^{-1}$	Rychlost ochranné atmosféry v bodě 2
$v_3$	$\text{ms}^{-1}$	Rychlost ochranné atmosféry v bodě 3
$v_4$	$\text{ms}^{-1}$	Rychlost ochranné atmosféry v bodě 4
$z$	l	Počet řad v trubkovnici
$A$	l	Koeficient
$C_d$	l	Korekční součinitel na průměr potrubí
$C_L$	l	Korekční součinitel na poměrnou délku
$C_n$	l	Součinitel uspořádání trubek
$C_z$	l	Součinitel závislý na počtu řad
$D$	m	Vnitřní průměr pláště výměníku
$L_K$	m	Délka chladicího kanálu
$L_A$	m	Délka válcové plochy u šachovnicového uspořádání
$L_B$	m	Délka válcové plochy u obdélníkového uspořádání
$L_v$	m	Délka
$Nu$	l	Nuseltovo číslo
$O$	M	Obvod
$O_K$	m	Obvod
$Pr$	l	Prantlovo kritérium
$Re$	l	Reynoldsovo číslo
$S$	m	Šířka válcové plochy (trubkovnice)
$S_{1A}$	$\text{m}^2$	Teplosměnná plocha výměníku první varianty
$S_{1B}$	$\text{m}^2$	Teplosměnná plocha výměníku druhé varianty
$S_K$	$\text{m}^2$	Plocha kanálu
$S_{\text{pod}}$	m	Příčná osová vzdálenost mezi válcovými plochami
$S_{\text{př}}$	m	Podélná osová vzdálenost mezi válcovými plochami
$P$	W	Teplo sdělené prostupem
$T_0$	K	Teplota ochranné atmosféry za normálních podmínek

$T_1$	K	Teplota ochranné atmosféry před vstupem do výměníku
$T_2$	K	Teplota ochranné atmosféry před výstupem z výměníku
$V_{Sk}$	$m^3s^{-1}$	Skutečný objem protékající výměníkem
$V_{Sk1}$	$m^3s^{-1}$	Skutečný objem protékající výměníkem při vstupu do trubkovnice
$V_{Sk2}$	$m^3s^{-1}$	Skutečný objem protékající výměníkem při výstupu z výměníku
$V_n$	$m^3s^{-1}$	Objem ochranné atmosféry za normálních podmínek
$\alpha_1$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla mezi ochrannou atmosférou a válcovou plochou
$\alpha_{2A}$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla mezi vodou a válcovou plochou u první varianty
$\alpha_{2B}$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla mezi vodou a válcovou plochou u druhé varianty
$\lambda_m$	$Wm^{-1}K^{-1}$	Teplotní vodivost stěny válcové plochy
$\lambda_{Ar}$	$m^2s^{-1}$	Teplotní vodivost ochranné atmosféry
$\lambda_v$	$Wm^{-1}K^{-1}$	Tepelná vodivost vody
$\chi$	1	Teplotní součinitel plynů a kapalin $\kappa=1$
$\nu_{Ar}$	$m^2s^{-1}$	Kinematická viskozita ochranné atmosféry
$\nu_v$	$m^2s^{-1}$	Kinematická viskozita vody
$\eta_{Ar}$	$Pa.s^{-1}$	Kinematická viskozita ochranné atmosféry
$\eta_v$	$Pa.s^{-1}$	Kinematická viskozita vody
$\kappa$	1	Adiabatický exponent
$\xi_3$	1	Součinitel tření na vtoku s rozšířeným vstupem
$\xi_6$	1	Součinitel tření v ohybu $90^\circ$
$\xi_7$	1	Součinitel tření na vtoku se zúženým vstupem
$\rho_v$	$kg.m^3$	Měrná hustota vody
$\rho_{Ar}$	$kg.m^3$	Měrná hustota ochranné atmosféry
$\Lambda$	1	Součinitel tření
$\Lambda_L$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel vztažený na délku válcové plochy
$\sigma_{uhl}$	1	Poměrný úhlopříčný rozestup
$\sigma_{pod}$	1	Poměrný podélný rozestup
$\sigma_{př}$	1	Poměrný příčný rozestup
$\Phi_0$	1	Parametr

## 1. Úvod

Úkolem této práce je navrhnout pro potřeby laboratoří VŠB – TUO chladič Ar. Při návrhu tohoto zařízení bude vycházeno ze stávajících provedení již fungujících zařízení.

Při návrhu tohoto zařízení bude hlavní důraz kladen na možnost víceúčelového provedení chladiče. To znamená, že chladič bude navržen tak, aby jej bylo možné adaptovat do nahlížecího otvoru stávajícího zařízení (pece). Hlavním problémem je návrh dostatečného chlazení a to z důvodu vysokých teplot chlazeného plynu (dále jen OA) a minimalizace pracovního prostoru tak, aby chladič nepřekážel běžnému provozu. Z těchto důvodů je zapotřebí zvolit správné uspořádání chladicích ploch.

V případě návrhu jednoúčelového provedení chladiče se předpokládá napojení chladiče na závit M12, který je umístěn na stávajícím zařízení.

Na chladiči budou umístěny otvory pro přívod a odvod plynu, dalšími otvory umístěnými na chladiči budou otvory pro přívod a odvod chladicího média. Na výtoku chladicího média bude umístěn průtokoměr a teploměr pro měření průtoku a výstupní teploty média. V případě víceúčelového návrhu bude na chladiči umístěná kamera, která bude snímat prostor uvnitř zařízení.

Všechny tyto měřicí, regulační a sledovací prvky budou napojeny na PC, kde se budou ukládat získaná data a ty se budou následně vyhodnocovat.

## **2. Výtah z literární rešerše**

### **2.1. Výměník tepla**

Je zařízení postavené pro účinný přenos tepla z jednoho média do druhého. Média mohou být odděleny pevnou stěnou, aby se nemísily, nebo mohou být v přímém kontaktu. Výměníky tepla jsou široce využívány ve vytápění, chlazení, klimatizacích, elektrárnách, chemických továrnách, petrochemických podnicích, ropných rafineriích, zpracování zemního plynu a čištění odpadních vod. Klasický příklad tepelného výměníku se nachází ve spalovacím motoru, ve kterém cirkulující tekutiny známé jako chladicí kapaliny motoru protékají cívkami radiátoru a obtékající vzduch ochlazuje chladicí kapalinu a zároveň se sám zahřívá. [15]

### **2.2. Trubkový výměník tepla**

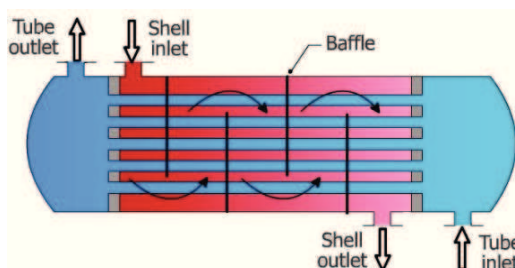
Trubkové výměníky jsou jedny z nejpoužívanějších v praxi, proto se v této práci budu zabývat převážně tímto výměníkem a jeho uspořádáním trubek. Základní typy jsou:

- výměník tepla s pevnými trubkovnicemi
- výměník tepla s plovoucí hlavou
- výměník tepla s U-trubicemi
- výměník tepla typu trubka v trubce

#### **2.2.1. Výměník tepla s pevnými trubkovnicemi**

Tento typ výměníků patří mezi konstrukčně jednodušší, z důvodu možného rozebrání, nicméně toto řešení se nedoporučuje pro použití v provozních případech, kdy charakter pracovního média má tendenci k usazování nečistot v mezi-trubkovém prostoru.[16]

Tyto výměníky se používají pro takové provozní parametry, kdy teplota a tepelná roztažnost materiálu teplosměnných trubek a pláště výměníku nevyvolávají dilatační disproporce a nedochází tak v důsledku rozdílné roztažnosti k nadměrnému zatížení trubek a trubkovnic. V opačném případě musí být aplikován kompenzátor v plášti výměníku. [15]

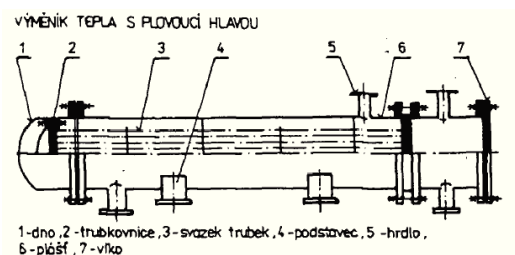


Obr. č. 1. Výměník tepla s pevnými trubkovnicemi [17]

### 2.2.2. Výměník tepla s plovoucí hlavou

Tento typ výměníků je většinou používán pro takové provozní parametry, kdy tepelná roztažnost teplosměnných trubek a pláště výměníků je větší než povolená diference a docházelo by v důsledku rozdílné roztažnosti k nadměrnému zatížení trubek a trubkovnic.[16]

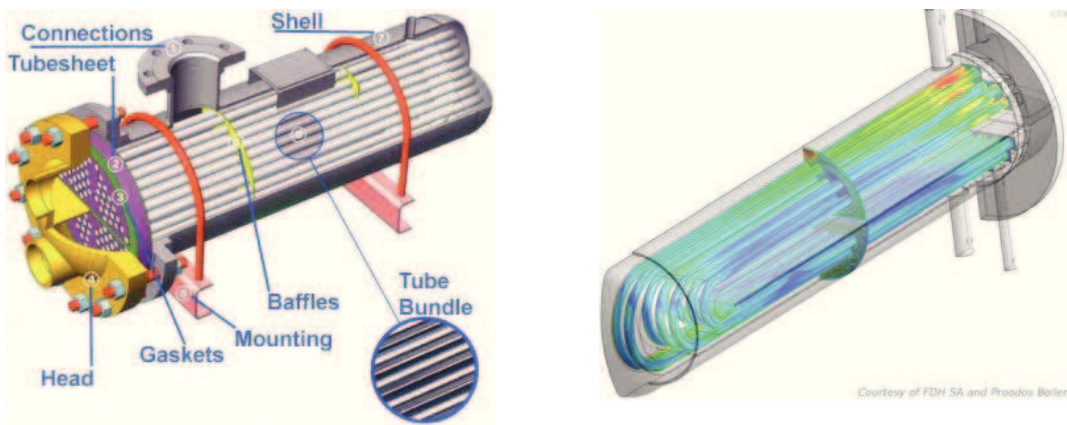
Dále se tento typ doporučuje pro provozní případy, kdy v důsledku charakteru media dochází k usazování nečistot v mezi-trubkovém prostoru. Po demontáži trubkového svazku z výměníku je možné mechanicky očistit vnější povrch teplosměnných trubek. [16]



Obr. č. 2. Schéma výměníku s plovoucí hlavou [13]

### 2.2.3. Výměník tepla s U trubkami

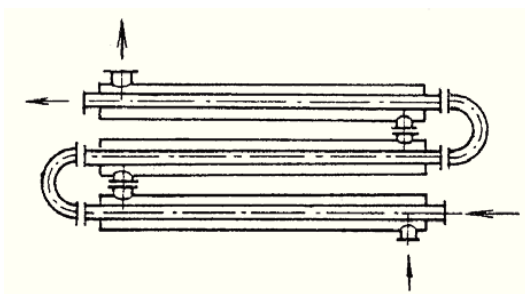
Charakteristickým znakem těchto výměníků jsou trubky tvaru U viz. obrázek. č. 3. Tento typ výměníku se často používá tam, kde je vysoký požadavek na těsnost, například u nebezpečných látek. Je to dáno tím, že U-trubky jsou z jednoho kusu a nemusí se tedy počítat s možností selhání, nebo netěsnosti těsnění v trubkovém prostoru. U-trubky disponují dostatečnou rezervou pro teplotní dilataci. Konstrukce dovozuje snadné čištění mezi-trubkového prostoru. Je to nejrozšířenější typ výměníku v petrochemickém a chemickém průmyslu. [16]



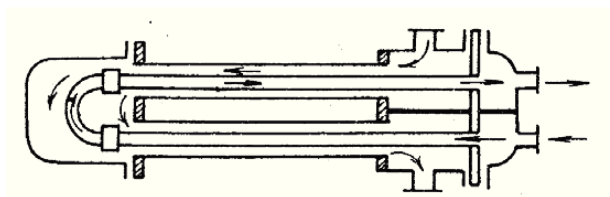
Obr. č. 3. Trubkové výměníky s U-trubkami [18]

### 2.2.4. Trubkový výměník typu trubka v trubce

Je v podstatě každý trubkový výměník bez přepážkového systému s maximálně 8 trubkami v plášti. Jsou to výměníky jednoduché konstrukce. Mezi jejich výhody patří také fakt, že se pro výrobu používají standardizované trubky. Obecně mají dobrou spolehlivost a životnost. Výměník typu trubka v trubce může být v rozebíratelném, nebo nerozebíratelném provedení. [13]



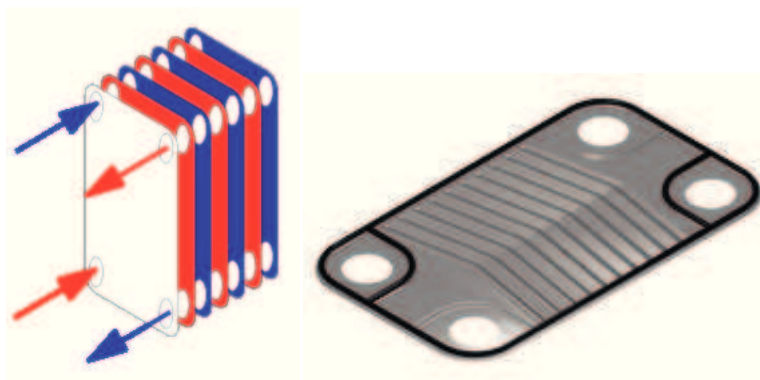
Obr. č. 4. Nerozebíratelné provedení [13]



Obr. č. 5. Rozebíratelné provedení [13]

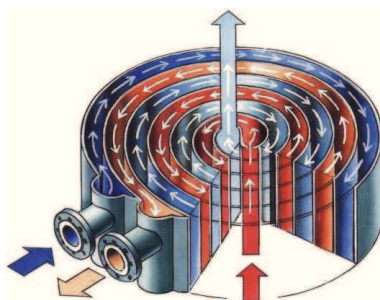
### 2.3. Deskový výměník

Dalším typem výměníku tepla je deskový výměník tepla. Skládá se z více tenkých, lehce oddělených desek, které mají velkou plochu pro proudění a přenos tepla. Tyto desky vrstveně uspořádané můžou být účinnější v daném prostoru, než trubkové výměníky tepla. Díky pokrokům v těsnící a pájecí technologii jsou deskové výměníky tepla stále praktické. Existuje mnoho deskových typů trvale vázaných výměníků tepla, jako hluboce pájené a vakuově pájené, které jsou často určeny pro uzavřené aplikace, jako je chlazení. Deskové výměníky tepla se také liší v různých typech desek.[15]



Obr. č. 6. Konceptuální diagram desky a rámu výměníku tepla[15]

### 2.4. Spirálové výměníky tepla



Obr. č. 7. Schematický náčrtek na výměníku tepla spirály.[23]

Spirálový výměník tepla, může odkazovat na šroubovici, trubky jsou stočené tak, aby se vytvořily dva kanály. Hlavní výhodou je jeho vysoce efektivní využití prostoru. Pozoruhodný kompromis je mezi investičními a provozními náklady. Je kompaktní a

může být použit v místě s menší plochou, snižuje se tak vše kolem kapitálových nákladů.[15]

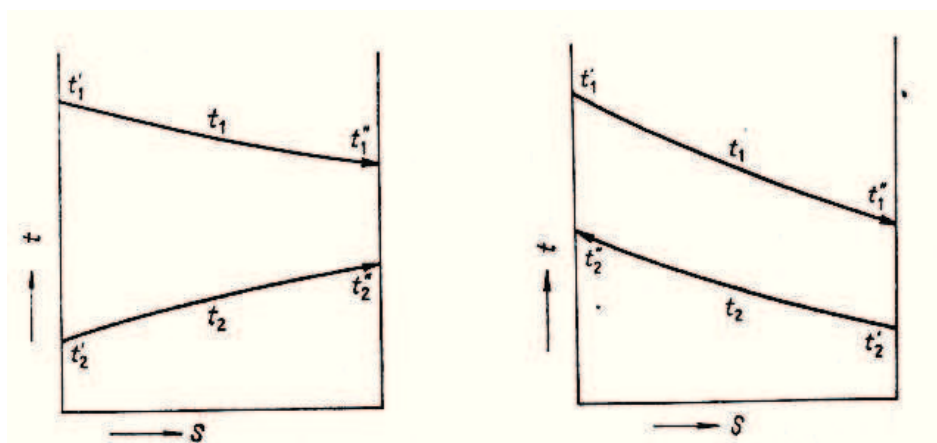
## 2.5. Uspořádání toku

### Souproud

Souproudé uspořádání se vyznačuje tím, že obě látky proudí ve stejném směru. Výstupní teplota horkého proudu je vždy vyšší než výstupní teplota studeného proudu. Na rozdíl od protiproudého toku má souproudé uspořádání markantní rozdíl teplot mezi teplým a studeným proudem na vstupu do výměníku. [13]

### Protiproud

Jak již název napovídá, tak v tomto případě kapaliny proudí výměníkem v opačném směru toku. Výhodou je, větší efektivnost středního logaritmického teplotního rozdílu  $\Delta T_{\ln}$ . Tedy větší využití energie teplého proudu. [13]



Obr. č. 8. Průběh teplot v souproudém a v protiproudém výměníku tepla [13]



### 3. Konstrukční návrh

#### 3.1. Upřesnění požadavků

Jako předpoklad k vytvoření požadavkového listu nám slouží zadání úkolu v obecné podobě. Nyní je nutné toto zadání doplnit, údaje pokud možno kvantifikovat, požadavky uspořádat a určit jejich významnost. Tyto požadavky lze potom uspořádat do požadavkového listu, který je znázorněn v Tab. 1. [1].

Tab. 1. Požadavkový list [1].

SPECIFIKACE POŽADAVKU:	PODMÍNKA	PŘÁNÍ
Chlazení: <ul style="list-style-type: none"><li>- Účinné chlazení proudícího plynu</li><li>- Chladicí voda nesmí překročit bod varu</li><li>- Při výtoku nesmí voda překročit 40°C</li><li>- Regulace přítoku vody</li></ul>	X X X X	
Rozměry: <ul style="list-style-type: none"><li>- Průměr nahlížečního otvoru max. <math>\phi</math> 25mm</li><li>- V případě varianty bez nahlížečního otvoru připojovací rozměr M12</li><li>- Vnější průměr co nejmenší</li><li>- Délka chladiče co nejmenší</li></ul>	X X X X	
Provoz: <ul style="list-style-type: none"><li>- Prostředí – laboratoř</li><li>- Údržba – minimální</li><li>- Četnost použití - vysoká</li></ul>	X X	X

<b>Materiál:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Odolnost proti vysokým teplotám</li> <li>- Dobrá tepelná vodivost</li> <li>- Vysoká teplota tání</li> </ul>	X X X	
<b>Vzhled:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rozměry dle dispozic laboratoře</li> <li>- Upravený povrch pláště</li> </ul>	X X	
<b>Výroba:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kusová</li> </ul>	X	
<b>Ergonomie:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jednoduchá manipulace a ovládání</li> <li>- Jednoduché připojení k nahlížecímu otvoru</li> <li>- Možnost rozebíratelné konstrukce</li> </ul>	X X	X
<b>Předpisy a normy:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bez porušení patentových práv</li> </ul>	X	
<b>Ekonomie:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimální náklady na provoz</li> </ul>		X

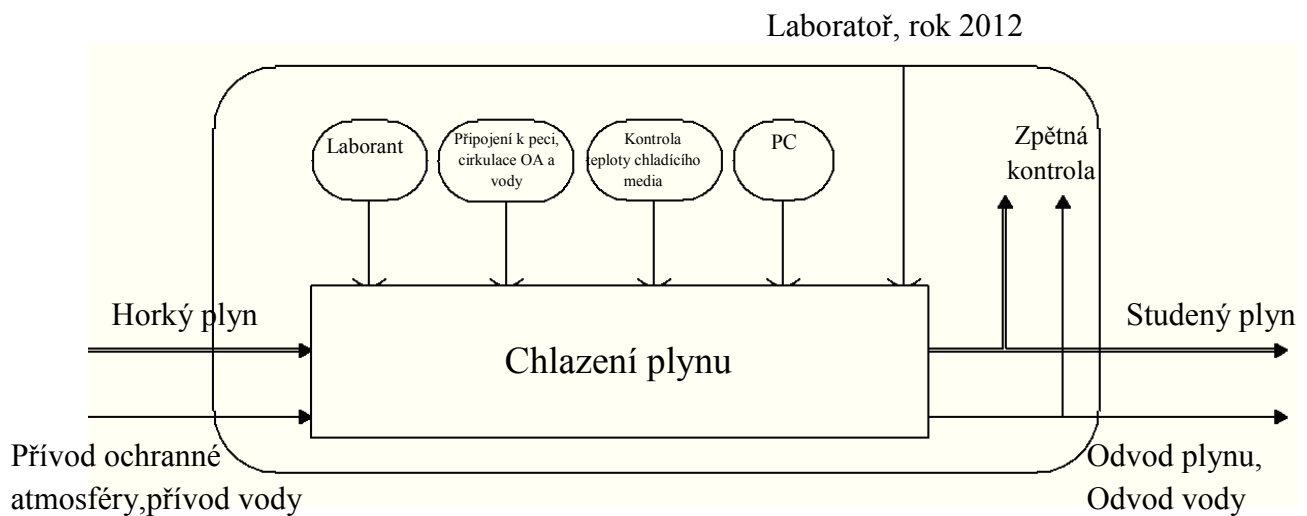
### 3.2. Technický proces

Je to umělý proces, ve kterém je stav materiálních a biologických objektů, energie a informací plánovitě měněn vlivem účinků člověka a technických prostředků. Tvorba technického procesu spočívá v aplikaci základních přírodních zákonů a poznatků. To znamená na znalostech fyzikálních, chemických a biologických zákonitostí. [1].

#### Funkce technického procesu

- Připojení k nahlížecímu otvoru
- Připojení k výstupu plynu z pece

- Vedení chlazení
- Vstup a výstup vody
- Zajištění cirkulace vody
- Zajištění cirkulace ochranné atmosféry
- Hermetizace chladiče
- Kontrola tlaku vody
- Kontrola rychlosti průtoku vody
- Kontrola teploty chladicího média
- Možnost sledování vnitřního prostoru pece skrz chladič

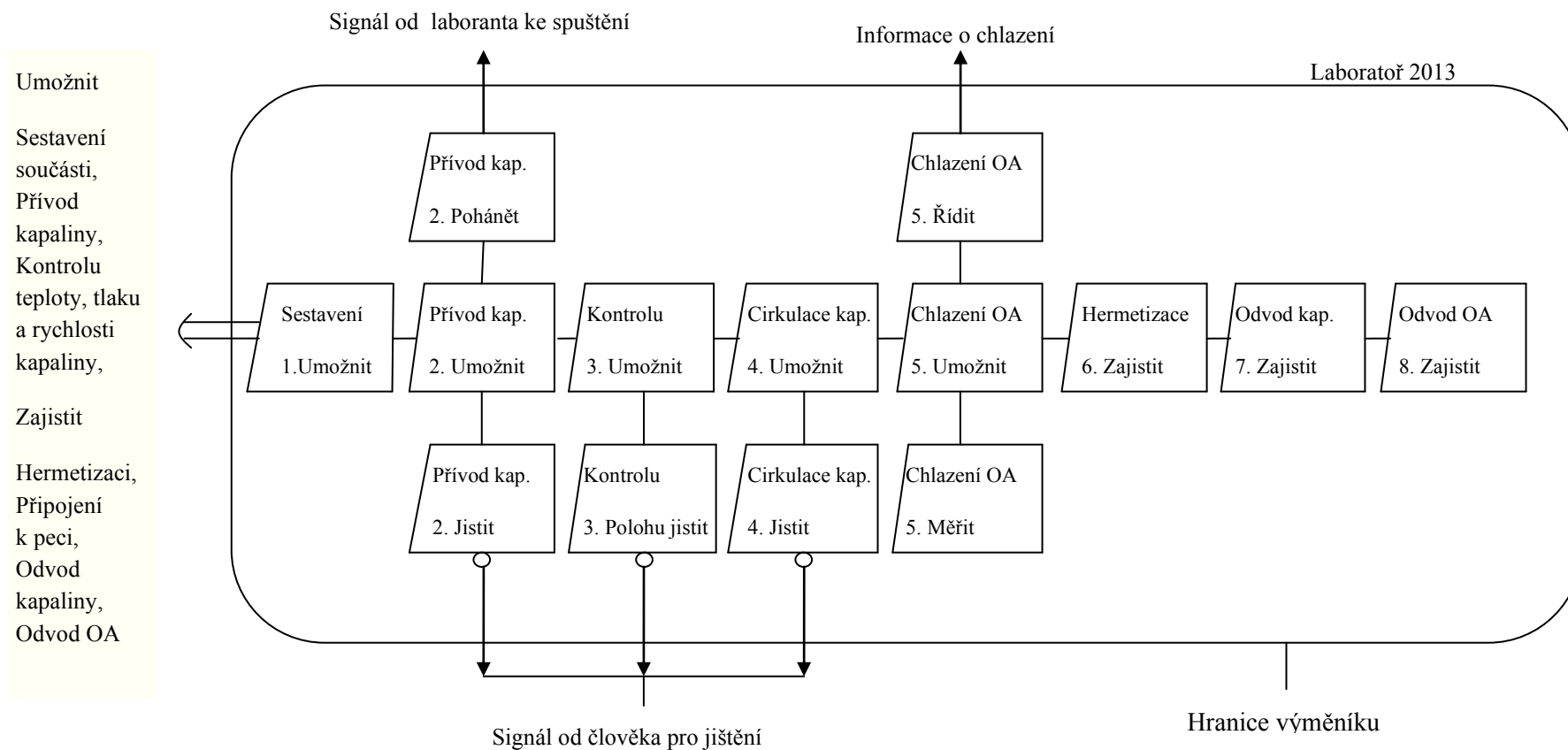


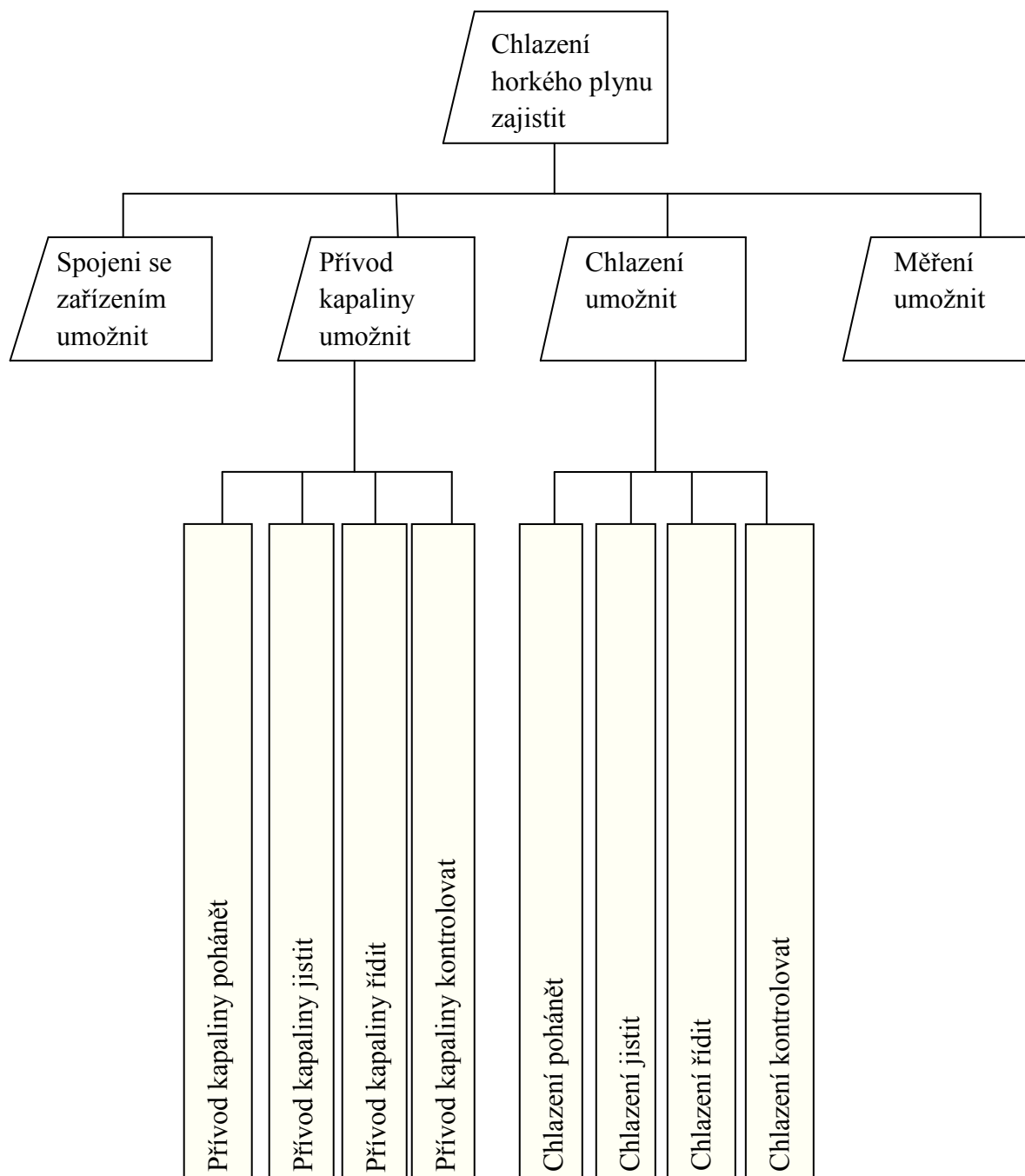
Obr. č. 9. Model transformačního procesu. [1]

### 3.3. Funkční struktura

Ve funkční struktuře jsou uvedeny dílčí úkoly (funkce), které musí daný technický systém splnit. Tyto úkoly vyplývají z technického procesu.[1].

Obr. č. 10. Funkční struktura – blokové schéma. [1]





Obr. č.11.Funkční struktura – hierarchický funkční strom[1]

### 3.4. Orgánová struktura

Je jiný druh struktury technického systému, kterou dostaneme při pohledu z funkčního hlediska. Jednotlivé účinkové řetězce jsou tvořeny z funkčních jednotek (orgánů). Orgány je možno ještě členit na nižší funkční jednotky (suborgány) nebo je funkčně spojovat do organismu [1].

Tab. č. 2. Morfologická matice [1].


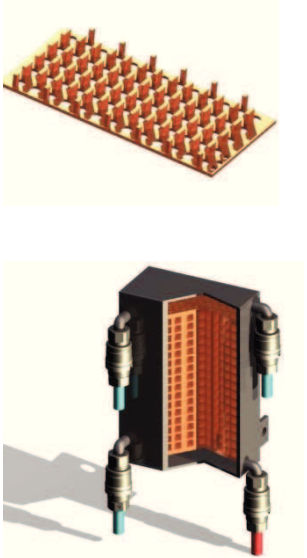
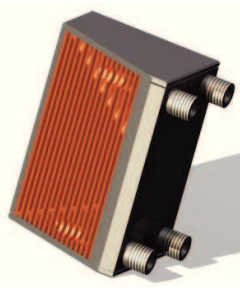
Dílčí funkce		Funkční principy / Orgány - nositelé funkcí			
		1.	2.	3.	4.
1.	Připojení chladiče k peci umožnit	Svarem	Šroubovým spojem	Rychloupínáním	
2.	Proudění vody zajistit	Souproudem	Protiproudem		
3.	Chlazení umožnit	Vodou	Vzduchem	Vodíkem	Nechladit
4.	Přívod chladicí vody umožnit	Hadicí	Trubkou	Tlakovou hadicí	
5.	Připojení vody umožnit	Šroubením	Rychlospojka	Trubková koncovka	
6.	Přívod vody zajistit	Z vodovodu	Z nádrže		
7.	Utěsnění chladiče zajistit	Těsnícím kroužkem	Silikonovým těsněním	Těsnící pastou	
8.	Kontrolu tlaku vody měřit	Digitální tlakoměr	Ručičkový tlakoměr		
9.	Kontrolu teploty vody měřit	Digitální teploměr	Dilatační teploměr	Bezkontaktní (infra) teploměr	Topenářský teploměr
10.	Kontrolu průtoku kapaliny měřit	Indukční průtokoměr	Vrtulkovým průtokoměrem		
11.	Kontrolu ochranné atmosféry měřit	Kyslíkovým analyzátozem	Argonovým analyzátozem		
12.	Seřízení průtoku vody zajistit	Ventilem	Kohoutem		

13.	Uspořádání trubek v chladiči s nahlížecím otvorem zajistit	Šachovnicové	Obdélníkové	Spirálové	Deskové
14.	Uspořádání trubek v jednoúčelovém chladiči zajistit	Obdélníkové	Šachovnicové	Spirálové	Deskové
15.	Sestavení zajistit	Rozebiratelné	Nerozebiratelné		

Tab. č. 3. Konceptní schéma chladiče s nahlížecím otvorem [1]

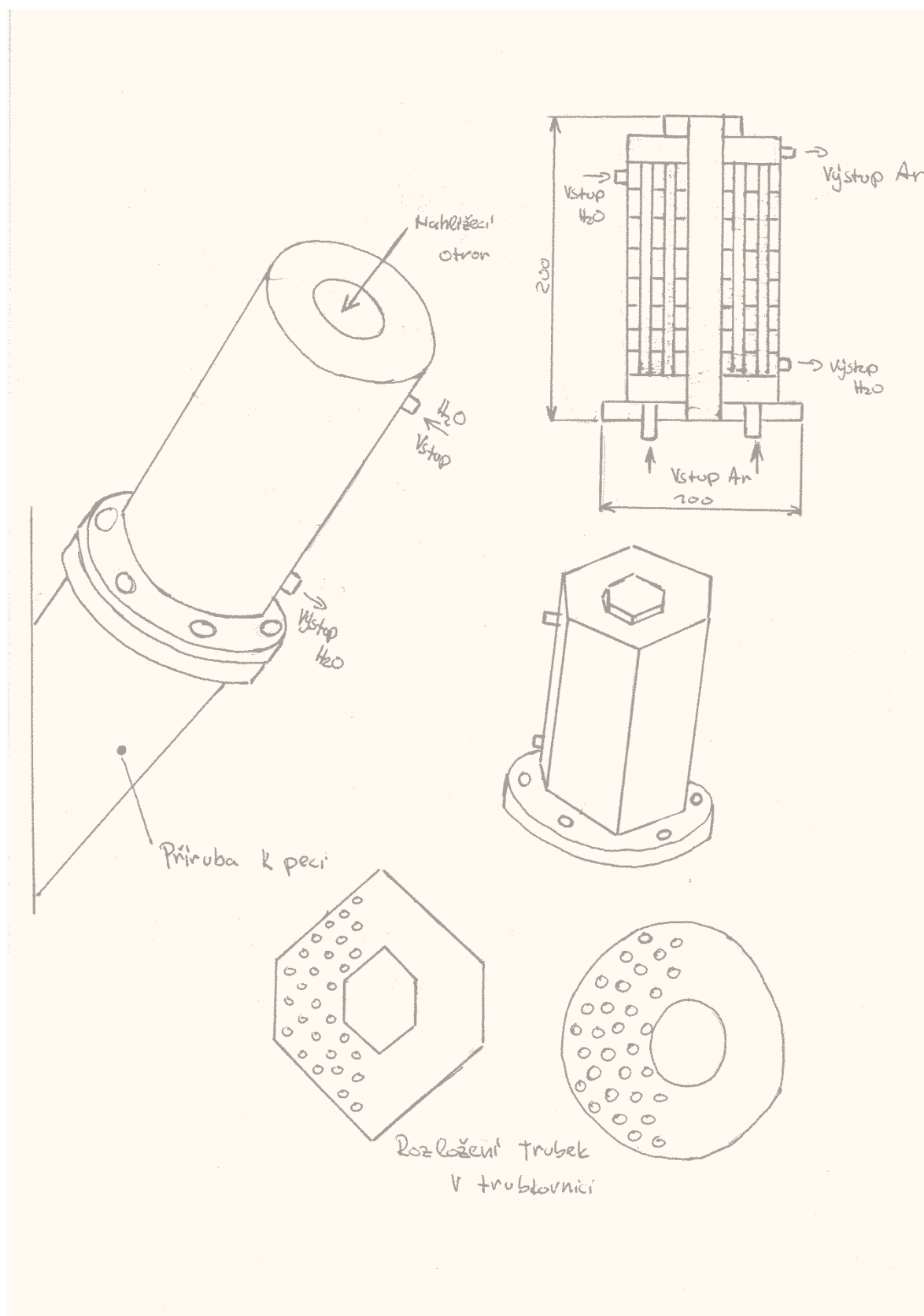
	Koncept 1 – spirálové uspořádání	Koncept 2 – šachovnicové uspořádání	Koncept 3 – deskové uspořádání
Orgánové struktury			
KRITERIA	HODNOCENÍ		
Náklady na výrobu	1	1	1
Složitost těsnění	1	1	3
Ergonomie	2	1	2
Rozměry	1	1	1
CELKOVÉ HODNOCENÍ	1,25	1	1,75

Tab.č. 4. Konceptní schéma bez nahlížecího otvoru [1]

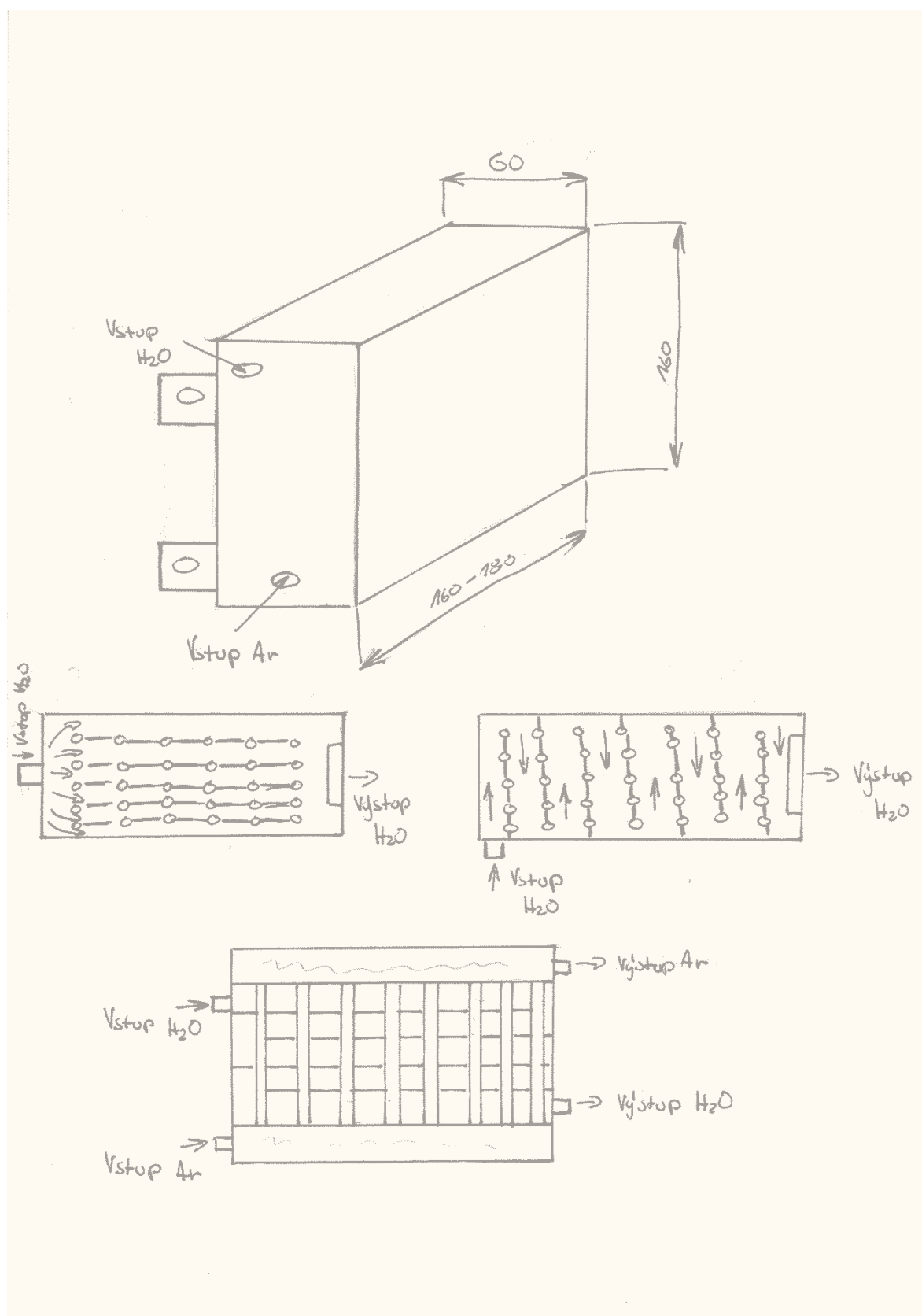
Orgánové struktury	<p>Koncept 1 - šachovnicové uspořádání</p> 	<p>Koncept 2 – obdélní – kové uspořádání</p> 	<p>Koncept 3 – deskové uspořádání</p> 
KRITERIA	HODNOCENÍ		
Náklady na výrobu	1	1	1
Složitost těsnění	1	1	3
Ergonomie	1	1	1
Rozměry	2	1	1
CELKOVÉ HODNOCENÍ	1,25	1	1,5



### 3.5. Hrubá stavební struktura

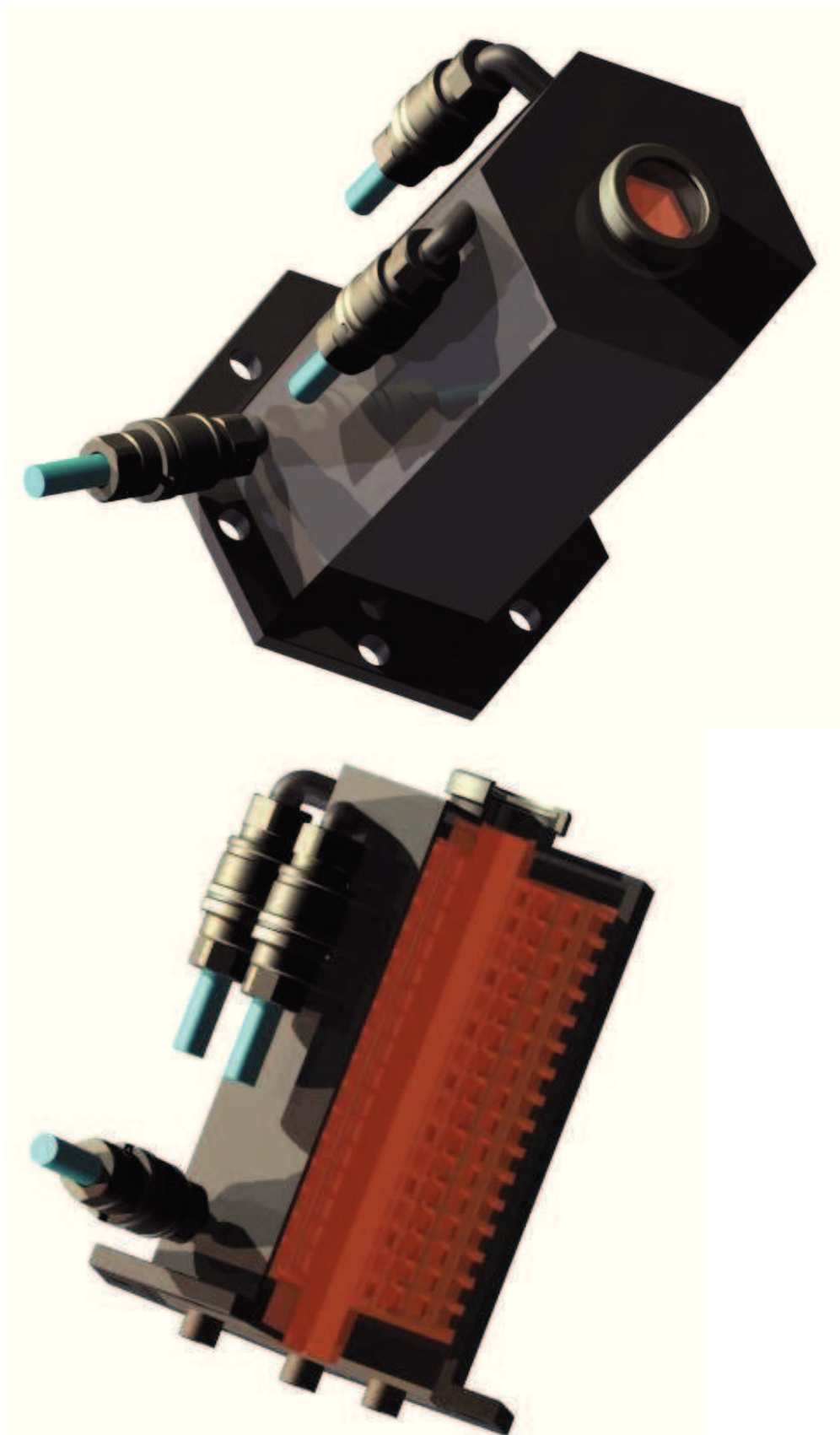


Obr. č. 12. Hrubá stavební struktura výměníku s nahlížeckým otvorem

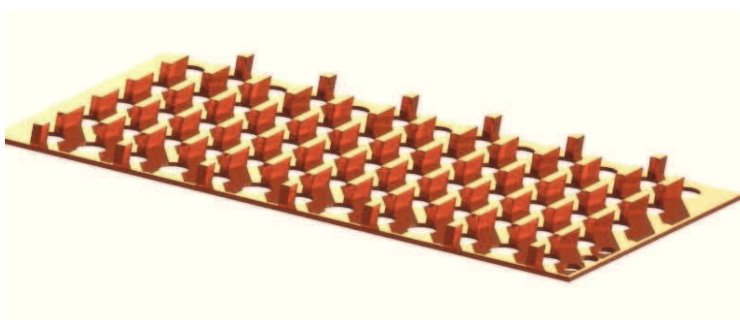
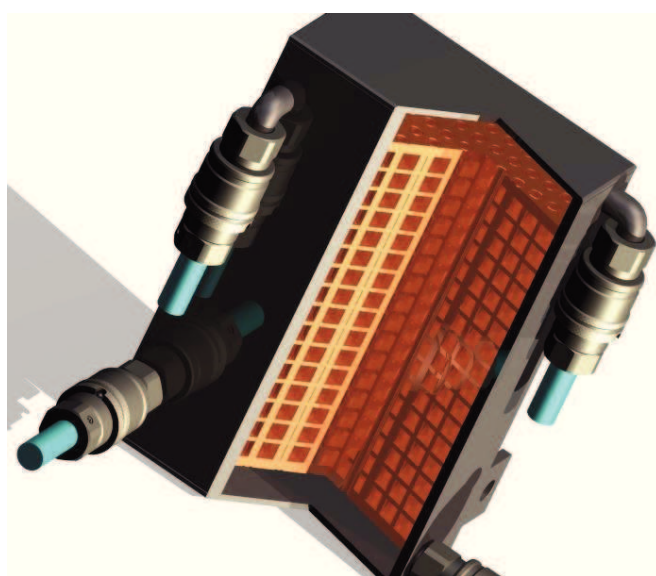
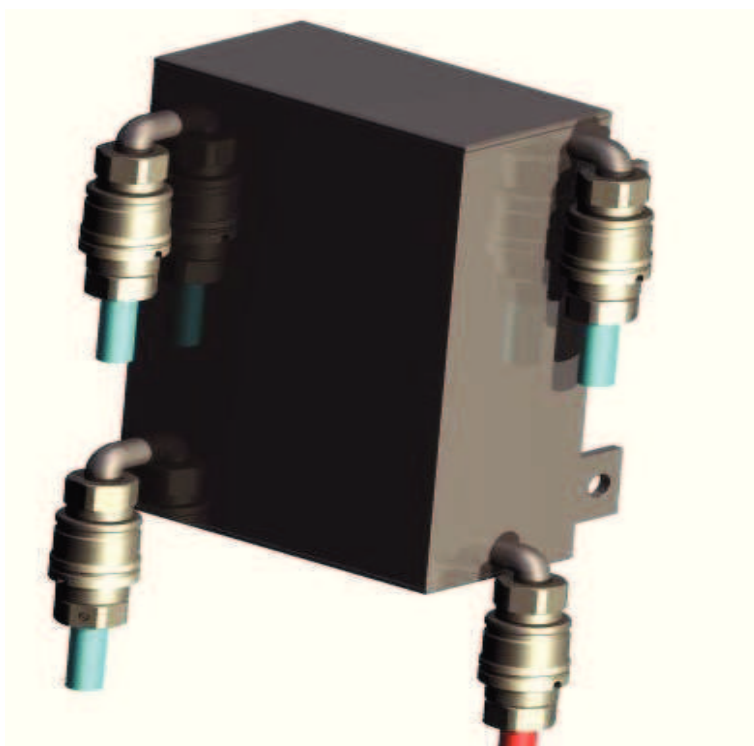


Obr. č. 13. Hrubá stavební struktura výměníku bez nahlížecího otvoru

### 3.6. Čistá stavební struktura



Obr. č. 14. Čistá stavební struktura výměníku s nahlížecím otvorem



Obr. č. 15. Čistá stavební struktura výměníku bez nahlížecího otvoru

## 4. Výpočet

V tomto případě se jedná o návrhový výpočet výměníku tepla, kde je kladený největší důraz na výpočet velikosti teplosměnné plochy. Tato plocha je potřebná k návrhu velikosti výměníku.

Výpočet bude proveden pro dva typy výměníku s různým uspořádáním válcových ploch. Hlavní rozdíl bude u součinitele prostupu tepla mezi válcovou plochou a vodou. Výpočty budou odlišeny indexy „a“ a „b“, přičemž „a“ bude značit výpočet s šachovnicovým uspořádáním a „b“ bude značit výpočet s obdélníkovým uspořádáním válcových ploch. To samé značení se bude týkat i tlakových ztrát.

V případě výpočtu součinitele prostupu tepla mezi ochrannou atmosférou a válcovou plochou, nebude výpočet označen žádným indexem, protože tento výpočet je pro obě varianty stejný.

Zvolené hodnoty pro výpočet:

Rychlost proudění vody	$v_v = 5 \text{ m.s}^{-1}$
Teploty vody na vstupu	$t_{v-1} = 15^\circ\text{C}$
Velikost kanálu	$a = 0,003\text{m} \quad b = 0,008\text{m}$
Počet válcových ploch	$i_n = 72$

### 4.1.1. Teorie tepelného výpočtu výměníku

### 4.1.2. Rovnice pro vyjádření tepla sděleného prostupem

$$P = k * \overline{\Delta t_{stř}} * S \quad [10] \quad [\text{W}] \quad (4.1)$$

Kde:	P	Teplo sdělené prostupem	[W]
	k	Součinitel prostupu tepla	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	S	Teplosměnná plocha chladiče	[m <sup>2</sup> ]
	$\overline{\Delta t_{stř}}$	Střední logaritmický rozdíl teplot vody a ochranné atmosféry	[K]

#### 4.1.3. Rovnice součinitele prostupu tepla rovinnou stěnou

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [10] \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (4.2)$$

Kde :	$\alpha_1$	Součinitel prostupu tepla mezi OA (Ar) a teplosměnnou plochou	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
	$\alpha_2$	Součinitel prostupu tepla mezi teplosměnnou plochou a vodou	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
	S	Šířka teplosměnné plochy (trubkovnice)	[m]
	$\lambda_m$	Součinitel prostupu tepla stěny	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]

Lze použít i pro tenkostěnnou válcovou plochu (trubku) s poměrem  $\frac{d_{vně}}{d_{vnit}} < 2$

#### 4.1.4. Rovnice součinitele prostupu tepla válcovou stěnou vztažený na délku plochy L

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{d_{vnit}} * \alpha_1 + \frac{1}{d_{vně}} * \alpha_2 + \frac{\pi}{\Lambda_L}} \quad [10] \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (4.3)$$

$$\Lambda_L = \frac{2\pi}{\frac{1}{\lambda_m} * \ln \frac{d_{vně}}{d_{vnitř}}} \quad [10] \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \quad (4.4)$$

Kde:	$\alpha_1$	Součinitel prostupu tepla mezi OA (Ar) a teplosměnnou plochou	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
	$\alpha_2$	Součinitel prostupu tepla mezi teplosměnnou plochou a vodou	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
	$\lambda_m$	Součinitel prostupu tepla stěny	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$
	$d_{vně}$	Vnější průměr válcové plochy	$[\text{m}]$
	$d_{vnitř}$	Vnitřní průměr válcové plochy	$[\text{m}]$

#### 4.1.5. Rovnice pro výpočet součinitele přestupu tepla mezi ochrannou atmosférou (Ar) a válcovou plochou.

-získáme vyjádřením ze vztahů pro výpočet Nusseltova čísla pro proudění v trubce.

$$Nu = \frac{\alpha * d_h}{\lambda_{Ar}}$$

$$Nu = C * Re^{0,8} * Pr^{0,4} * \chi \quad [6] \quad [-] \quad (4.5), (4.6)$$

Kde	Nu	Nusseltovo číslo	$[-]$
	c	Konstanta	$[-]$
	$d_h$	Hydraulický průměr	$[\text{m}]$
	$\lambda_{Ar}$	Součinitel tepelné vodivosti argonu	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$
	Re	Reynoldsovo číslo	$[-]$

$\chi$  Teplotní součinitel-u plynů a kapalin  $\chi=1$  [-]

Pr Prandtlovo kritérium [-]

[10]

Konstanta  $C=0,023$  pro  $1 < Pr \leq 150$  a  $10^4 < Re < 2 \cdot 10^5$

Konstanta  $C=0,021$  pro  $Pr=0,7$  a  $Re < 10^6$

- Vyjádříme součinitel přestupu tepla  $\alpha$

$$\alpha = 0,021 * \frac{\lambda_{Ar}}{d_h} * Re^{0.8} * Pr^{0.4} * \chi \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (4.7)$$

- Součinitel přestupu tepla konvekcí při podélném obtékání plochy závisí na typu proudění. Proudění spalin, vzduch, páry a vody je zpravidla turbulentní.  $1500 \leq Re \leq 10^5$ , všechny parametry se určují pro střední teplotu proudu. [11]
- Tuto rovnici doplníme o korekční součinitele na průměr potrubí  $C_d$  a na poměrnou délku  $C_L$
- V případě ustáleného laminárního režimu, kdy se teplo, kolmo na směr proudění přenáší pouze vedením je možno použít vztah.[10]

$$\alpha = 0,17 * \frac{\lambda_{Ar}}{d_h} * Re^{0.33} * Pr^{0.43} * \chi \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (4.8)$$

#### 4.1.6. Součinitel přestupu tepla mezi válcovou plochou a vodou

- získáme vyjádřením ze vztahů pro výpočet Nusseltova čísla

$$Nu = \frac{\alpha * d_h}{\lambda_{H_2O}} \quad [6] \quad [-] \quad (4.9)$$



- druhou rovnici získáme v závislosti na typu proudění a na uspořádání trubek v trubkovnici.

V případě obdélníkového uspořádání válcových ploch s kolmým prouděním vody

$$\text{Re} < 100 \quad Nu = 0,9 \text{Pr}^{0,36} * \text{Re}^{0,4}$$

$$100 < \text{Re} < 400 \quad Nu = 0,52 \text{Pr}^{0,36} * \text{Re}^{0,5}$$

$$4*10^2 < \text{Re} < 2*10^5 \quad Nu = 0,27 \text{Pr}^{0,36} * \text{Re}^{0,63}$$

$$\text{Re} > 2*10^5 \quad Nu = 0,033 \text{Pr}^{0,4} * \text{Re}^{0,8}$$

[13]

V případě šachovnicového uspořádání válcových ploch s kolmým prouděním vody

$$\text{Re} < 40 \quad Nu = 1,04 \text{Pr}^{0,36} * \text{Re}^{0,4}$$

$$40 < \text{Re} < 3*10^2 \quad Nu = 0,71 \text{Pr}^{0,36} * \text{Re}^{0,5}$$

$$3*10^2 < \text{Re} < 2*10^5 ; a/b < 2 \quad Nu = 0,35 \text{Pr}^{0,36} * \text{Re}^{0,6}$$

$$a/b > 2 \quad Nu = 0,40 \text{Pr}^{0,36} * \text{Re}^{0,6}$$

$$\text{Re} > 2*10^5 \quad Nu = 0,031 * \left( \frac{a}{b} \right)^{0,2} \text{Pr}^{0,4} * \text{Re}^{0,8}$$

[13]

- po výběru druhé rovnice vyjádříme součinitel přestupu tepla  $\alpha$  pro šachovnicové uspořádání

$$\alpha = 0,35 \frac{\lambda_v}{dh} * \text{Re}^{0,6} * \text{Pr}^{0,36} * \chi * Cn * Cz \quad [\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}] \quad (4.10)$$

- a pro obdélníkové uspořádání

$$\alpha_{2B} = 0,033 \frac{\lambda_V}{dh} * Re^{0.8} * Pr^{0.4} * \chi * Cn_B * Cz_B \quad [W.m^{-2}.K^{-1}] \quad (4.11)$$

- rovnice jsou doplněny o teplotní součinitel  $\chi$ , součinitel uspořádání trubek  $Cn$  a součinitel závislý na počtu řad  $Cz$  dle [11].

Kde:	Nu	Nusseltovo číslo	[-]
	C	Konstanta	[-]
	dh	Hydraulický průměr	[m]
	$\lambda_{H2O}$	Součinitel tepelné vodivosti	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	Re	Reynoldsovo číslo	[-]
	$\chi$	Teplotní součinitel-u plynů a kapalin $\chi=1$	[-]
	Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
	C <sub>n</sub>	Součinitel uspořádání trubek	[-]
	C <sub>Z</sub>	Součinitel závislý na počtu řad	[-]

#### 4.1.7. Rovnice tepelné bilance

$$P = m_V * cp_V * \Delta t_V = m_{OA} * cp_{OA} * \Delta t_{OA} \quad [6] \quad [W] \quad (4.12)$$

Kde:	P	Tepelný výkon výměníku	[W]
	m <sub>V</sub>	Množství vody protékající výměníkem	[kg.s <sup>-1</sup> ]
	cp <sub>V</sub>	Tepelná kapacita vody	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
	$\Delta t_V$	Rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou vody	[K]

$m_{OA}$  Množství ochranné atmosféry proudící výměníkem [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$c_{pOA}$  Tepelná kapacita ochranné atmosféry [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$\Delta t_{OA}$  Rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou ochranné atmosféry [K]

## 5. Výpočet teplosměnné plochy

### 5.1. Přepočet objemového průtoku ochranné atmosféry na skutečné podmínky

- Objemový průtok protékající výměníkem byl určen v zadání na hodnotu 34 l/min což je po převedení  $5,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .
- Vypočítaný skutečný objem je potřeba podělit celkovým počtem válcových ploch ve výměníku.

$$V_{sk} = \frac{V_n}{T_0} * T_1 = \frac{5,66 * 10^{-4}}{293,15} * 573,15 = \underline{\underline{0,001106 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}}$$

$$V_{sk1} = \frac{\frac{V_n}{T_0} * T_2}{n_t} = \frac{\frac{5,66 * 10^{-4}}{293,15} * 573,15}{72} = \underline{\underline{1,536 * 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}}$$

$$V_{sk2} = \frac{\frac{V_n}{T_0} * T_2}{n_t} = \frac{\frac{5,66 * 10^{-4}}{293,15} * 303,15}{72} = \underline{\underline{8,129 * 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}}$$

$$[6] \quad [\text{m}^3 \text{ s}^{-1}] \quad (5.1)$$

Kde:  $V_n$  Objemový průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$T_0$  Teplota ochranné atmosféry za normálních podmínek [K]

$T_1$  Teplota ochranné atmosféry před vstupem do výměníku [K]

$T_2$  Teplota ochranné atmosféry na výstupu z výměníku [K]

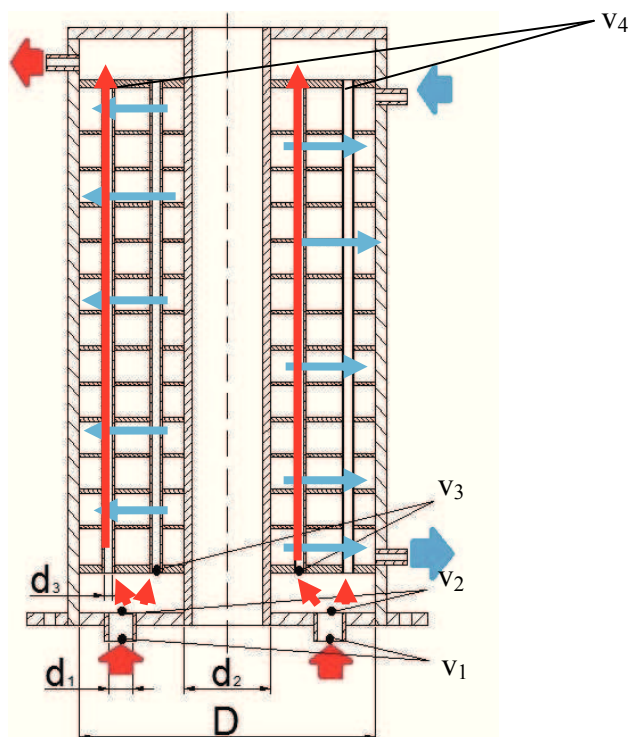
## 5.2. Výpočet rychlosti ochranné atmosféry v daných úsecích

$$v_1 = \frac{V_{sk}}{\frac{\pi * d_1^2}{4}} = \frac{0,001106}{\frac{\pi * 0,012^2}{4}} = \underline{\underline{9,779 m/s}} \quad [m.s^{-1}] \quad (5.2)$$

$$v_2 = \frac{V_{sk}}{\frac{\pi * (D^2 - d_2^2)}{4}} = \frac{0,001106}{\frac{\pi * (0,1^2 - 0,03^2)}{4}} = \underline{\underline{0,155 m/s}} \quad [m.s^{-1}] \quad (5.3)$$

$$v_3 = \frac{V_{sk1}}{\frac{\pi * d_3^2}{4}} = \frac{1,536 * 10^{-5}}{\frac{\pi * 0,004^2}{4}} = \underline{\underline{1,222 m.s^{-1}}} \quad [m.s^{-1}] \quad (5.4)$$

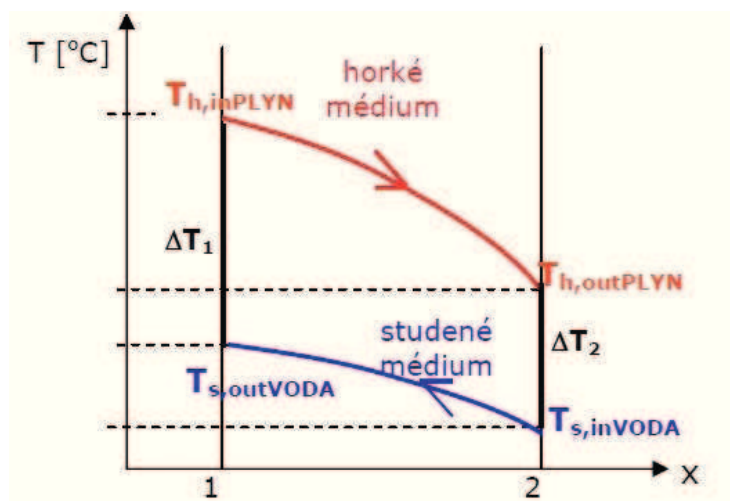
$$v_4 = \frac{V_{sk2}}{\frac{\pi * d_3^2}{4}} = \frac{8,129 * 10^{-6}}{\frac{\pi * 0,004^2}{4}} = \underline{\underline{0,647 m.s^{-1}}} \quad [m.s^{-1}] \quad (5.5)$$



Obr. č. 16. Schéma rozložení rychlosti a vstupu a výstupu plynu a vody ve výměníku

- Kde  $d_1$  Vstupní průměr do výměníku [m]
- $d_2$  Vnější průměr nahlížecího otvoru [m]
- $d_3$  Vstupní průměr do trubkovnice [m]
- $V_{sk1}$  Skutečný objem plynu při vstupu do trubkovnice
- $V_{sk2}$  Skutečný objem plynu při výstupu z trubkovnice

### 5.3. Výpočet střední teploty a středního logaritmického spádu



Obr. 17. Schéma průběhu teplot u protiproudu

$$\begin{aligned}
 \Delta t_1 &= t_{OA-1} - t_{V-2} \\
 \Delta t_1 &= 350 - 40 \\
 \Delta t_1 &= \underline{\underline{310^\circ C}}
 \end{aligned}
 \quad [6] \quad [^\circ C] \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned}
 \Delta t_2 &= t_{OA-2} - t_{V-1} \\
 \Delta t_2 &= 30 - 15 \\
 \Delta t_2 &= \underline{\underline{15^\circ C}}
 \end{aligned}
 \quad [6] \quad [^\circ C] \quad (5.6)$$

$$\overline{\Delta t_{stř}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{310 - 15}{\ln \frac{310}{15}} = \underline{\underline{97,407^\circ C}} \quad [6] \quad [^\circ C] \quad (5.7)$$

Kde:  $t_{OA-1}$  Teplota OA na vstupu do výměníku  $[^\circ C]$

$t_{OA-2}$  Teplota OA na výstupu z výměníku  $[^\circ C]$

$t_{v-1}$  Teplota vody na vstupu  $[^\circ C]$

$t_{v-2}$  Teplota vody na výstupu  $[^\circ C]$

### 5.3.1. Střední teplota ochranné atmosféry

$$t_{stř-OA} = \frac{t_{OA-1} + t_{OA-2}}{2}$$

$$t_{stř-OA} = \frac{350 + 30}{2}$$

$$t_{stř-OA} = \underline{\underline{190^\circ C}} \quad [^\circ C] \quad (5.8)$$

Kde:  $t_{OA-1}$  Teplota ochranné atmosféry na vstupu do výměníku  $[^\circ C]$

$t_{OA-2}$  Teplota ochranné atmosféry na výstupu z výměníku  $[^\circ C]$

### 5.3.2. Střední teplota vody

$$t_{stř-V} = \frac{t_{v-2} + t_{v-1}}{2}$$

$$t_{stř-V} = \frac{40 + 15}{2} \quad [^\circ C] \quad (5.9)$$

$$t_{stř-V} = \underline{\underline{27,5^\circ C}}$$

Kde:  $t_{v-1}$  Teplota vody na vstupu  $[^\circ C]$

$t_{v-2}$  Teplota vody na výstupu  $[^\circ C]$

## 5.4. Výpočet součinitele prostupu tepla mezi ochrannou atmosférou a válcovou plochou

Tab. č. 5. Základní parametry ochranné atmosféry

Základní parametry ochranné atmosféry			
Součinitel tepelné vodivosti	$\lambda_{Ar}$	0,032	$[Wm^{-1}K^{-1}]$
Kinematická viskozita	$\eta_{Ar}$	0,0000392	$[Pa.s^{-1}]$
Měrná hustota	$\rho_{Ar}$	1,05	$[kg.m^{-3}]$
Měrná tepelná kapacita	$cp_{Ar}$	520	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$

- Výsledný vzorec pro výpočet součinitele prostupu tepla získáme vyjádřením z rovnice výpočtu Nusseltova čísla viz rovnice (5.5) a (5.6)

$$\alpha = 0,17 * \frac{\lambda_{Ar}}{d_h} * Re^{0,33} * Pr^{0,43} * \chi * C_d * C_L \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (5.10)$$

Kde	$d_h$	Hydraulický průměr	[m]
	$\lambda_{Ar}$	Součinitel tepelné vodivosti	$[Wm^{-1}K^{-1}]$
	Re	Reynoldsovo číslo	[-]
	$\chi$	Teplotní součinitel-u plynů a kapalin $\chi=1$	[-]
	Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
	$C_d$	Korekce na průměr potrubí	[-]
	$C_l$	Korekce na poměrnou délku	[-]

Určení korekce na průměr potrubí  $C_d$

$$C_d = 1 \quad [11] \quad [-]$$

Určení korekce na poměrnou délku  $C_1$

$$C_1 = 1$$

[11]

[-]

## Výpočet dynamické viskozity

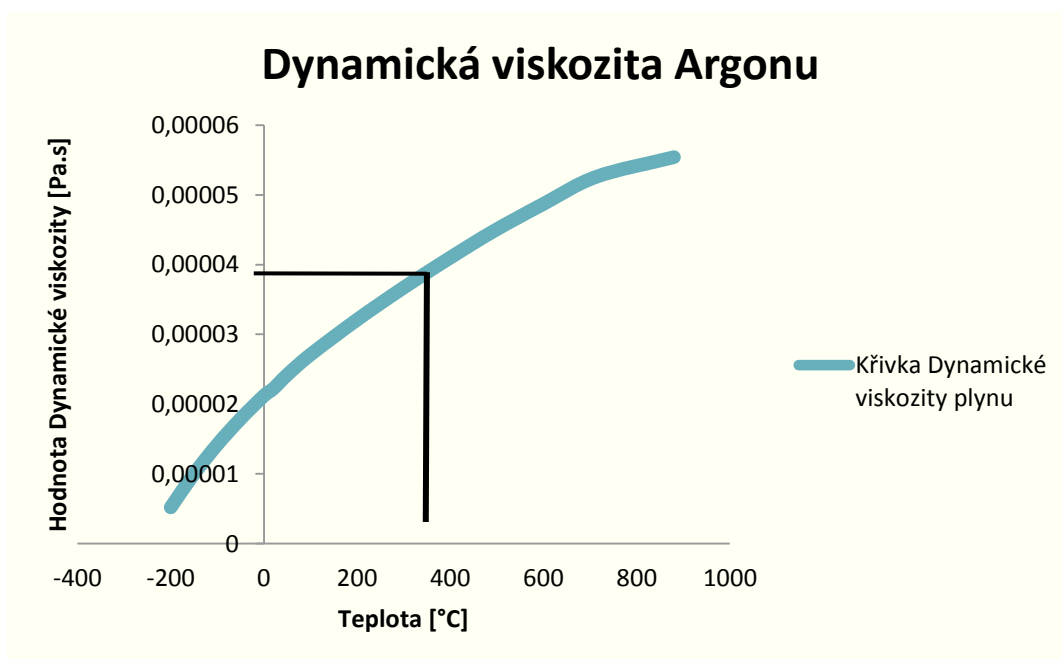
$$\nu_{Ar} = \frac{\eta_{Ar}}{\rho_{Ar}}$$

$$\nu_{Ar} = \frac{0,0000392}{1,05} \quad [6] \quad [m^2 s^{-1}] \quad (5.11)$$

$$\nu_{Ar} = \underline{\underline{3,733 \cdot 10^{-5} m^2 s^{-1}}}$$

Kde:  $\rho_{Ar}$  Měrná hustota  $[kg \cdot m^{-3}]$

$\eta_{Ar}$  Kinematická viskozita  $[Pa \cdot s^{-1}]$





## Reynoldsovo číslo

Na vstupu do trubkovnice pro jednu válcovou plochu

$$\begin{aligned} \text{Re}_1 &= \frac{v_3 * d_{\text{vnitř}}}{\nu_{Ar}} \\ \text{Re}_1 &= \frac{1,222 * 0,004}{3,733 * 10^{-5}} & [6] & [-] & (5.12) \\ \text{Re}_1 &= \underline{\underline{130,940}} \end{aligned}$$

Na výstupu z trubkovnice pro jednu válcovou plochu

$$\begin{aligned} \text{Re}_2 &= \frac{v_4 * d_{\text{vnitř}}}{\nu_{Ar}} \\ \text{Re}_2 &= \frac{0,647 * 0,004}{3,733 * 10^{-5}} & [6] & [-] & (5.12) \\ \text{Re}_2 &= \underline{\underline{69,327}} \end{aligned}$$

Střední hodnota Reynoldsova čísla

$$\text{Re} = \frac{\text{Re}_1 + \text{Re}_2}{2} = \frac{130,940 + 69,327}{2} = \underline{\underline{100,134}} \quad [-] \quad (5.13)$$

Kde:  $v_3$  Rychlost ochranné atmosféry ve výměníku  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

$d_{\text{vnitř}}$  Vnitřní průměr válcové plochy  $[\text{m}]$

$\nu_{Ar}$  Dynamická viskozita  $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

- Z důvodu změny objemu plynu při průchodu výměníkem jsem se rozhodl počítat se střední hodnotou Reynoldsova čísla.

## Prandtlovo číslo

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= \frac{(\eta_{Ar} * cp_{Ar})}{\lambda_{Ar}} \\ \text{Pr} &= \frac{0,0000392 * 520}{0,032} & [6] \quad [-] & (5.14) \\ \text{Pr} &= \underline{\underline{0,632}} \end{aligned}$$

Kde:  $\eta_{Ar}$  Kinematická viskozita  $[\text{Pa.s}^{-1}]$

$\lambda_{Ar}$  Součinitel tepelné vodivosti  $[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$

$cp_{Ar}$  Měrná tepelná kapacita argonu  $[\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$

## Hydraulický průměr potrubí

$$d_h = \frac{4 * S_K}{O} \quad [11] \quad [\text{m}] \quad (5.15)$$

Kde:  $O$  Obvod chladicího kanálu  $[\text{m}]$

$S_K$  Plocha kanálu  $[\text{m}^2]$

$$O = 2 * \pi * r \quad [\text{m}] \quad (5.16)$$

-Dosadíme vzorec pro obvod a průřez chladicího kanálu do vzorce pro hydraulický průměr

$$\begin{aligned} d_h &= \frac{4 * \frac{\pi * d^2}{4}}{2 * \pi * r} = \frac{\pi * d^2}{2 * \pi * r} & [\text{m}] & (5.17) \\ d_h &= \frac{\pi * 0,004^2}{2 * \pi * 0,002} = \underline{\underline{4 * 10^{-3} \text{ m}}} \end{aligned}$$

Výsledný součinitel prostupu tepla mezi ochrannou atmosférou a jednou válcovou plochou

$$\alpha_1 = 0,17 * \frac{\lambda_{Ar}}{d_h} * Re^{0,33} * Pr^{0,43} * \chi * C_d * C_L$$

$$\alpha_1 = 0,17 * \frac{0,032}{4 * 10^{-3}} * 100,134^{0,33} * 0,632^{0,43} * 1 * 1 * 1 \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (5.10)$$

$$\alpha_1 = \underline{\underline{5,11 Wm^{-2}K^{-1}}}$$

- Tento výsledný součinitel se vztahuje pouze na jednu válcovou plochu v trubkovnici, kterou proudí pouze 1/72 celkového objemu plynu. A tepelný výkon výměníku je počítán na celkový objem, který projde výměníkem. Je nutné tento součinitel vynásobit celkovým počtem válcových ploch v trubkovnici. Protože u zbylých válcových ploch je tento součinitel totožný.

### 5.5. Výpočet součinitele prostupu tepla mezi válcovou plochou a vodou při šachovnicovém uspořádání

Tab. č. 6. Základní parametry chladicího media ( vody )

Základní parametry chladicího media ( vody )			
Součinitel tepelné vodivosti	$\lambda_v$	0,633	$[Wm^{-1}K^{-1}]$
Kinematická viskozita	$\eta_v$	0,000658	$[Pa.s^{-1}]$
Měrná hustota	$\rho_v$	992	$[kg.m^{-3}]$
Měrná tepelná kapacita	$c_{pv}$	4178	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$

- Výsledný vzorec pro výpočet součinitele prostupu tepla získáme vyjádřením z rovnice výpočtu Nusseltova čísla viz rovnice (5.8)

$$\alpha_{2A} = 0,35 \frac{\lambda_v}{dh} * Re^{0,6} * Pr^{0,36} * \chi * C_{n_A} * C_{z_A} \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (5.18)$$

Kde:	$d_h$	Hydraulický průměr	[m]
	$\lambda_v$	Součinitel tepelné vodivosti	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	Re	Reynoldsovo číslo	[-]
	$\chi$	Teplotní součinitel-u plynů a kapalin $\chi=1$	[-]
	Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
	$C_n$	Součinitel uspořádání trubek	[-]
	$C_Z$	Součinitel závislý na počtu řad	[-]

### Určení $C_n$ :

$$\begin{aligned}
 S_{př} &= S_1 * d_{vně} \\
 S_{př} &= 1.5 * 0,006 \\
 S_{př} &= \underline{\underline{0,009m}}
 \end{aligned}
 \quad [7] \quad [m] \quad (5.19)$$

$$\begin{aligned}
 S_{pod} &= S_2 * d_{vně} \\
 S_{pod} &= 2 * 0,006 \\
 S_{pod} &= \underline{\underline{0,012m}}
 \end{aligned}
 \quad [7] \quad [m] \quad (5.20)$$

Kde:	$S_1$	se volí mezi 1,5 – 4	[-]
	$S_2$	se volí mezi 2-3	[-]
	$S_{př}$	Příčná osová vzdálenost mezi válcovými plochami	[m]
	$S_{pod}$	Podélná osová vzdálenost mezi válcovými plochami	[m]

$$\sigma_{př} = \frac{s_{př}}{d_{vně}} = \frac{0,009}{0,006} = \underline{\underline{1,5}}$$

$$\sigma_{pod} = \frac{s_{pod}}{d_{vně}} = \frac{0,012}{0,006} = \underline{\underline{2}}$$

$$\sigma_{uhl} = \sqrt{\frac{1}{4} * \sigma_{př}^2 * \sigma_{pod}^2} = \sqrt{\frac{1}{4} * 1,5^2 * 2^2} = \underline{\underline{1,5}} \quad [7] \quad [-] \quad (5.21)$$

Kde:  $\sigma_{uhl}$  Poměrný úhlopříčný rozestup [-]

$\sigma_{pod}$  Poměrný podélný rozestup [-]

$\sigma_{př}$  Poměrný příčný rozestup [-]

$$\varphi_0 = \frac{\sigma_{př} - 1}{\sigma_{uhl} - 1} = \frac{1,5 - 1}{2 - 1} = \underline{\underline{0,5}} \quad [11] \quad [-] \quad (5.22)$$

$$0,1 < \varphi_\sigma \leq 1,7 \dots C_n = 0,34 * \varphi_\sigma^{0,1}$$

$$1,7 < \varphi_\sigma \leq 4,5 \text{ a } \sigma_{př} < 3 \dots C_n = 0,275 * \varphi_\sigma^{0,5}$$

$$1,7 < \varphi_\sigma \leq 4,5 \text{ a } \sigma_{př} \geq 3 \dots C_n = 0,34 * \varphi_\sigma^{0,1} \quad [11]$$

$$\text{Volím } C_n \text{ } 0,1 < \varphi_\sigma \leq 1,7 \dots C_n = 0,34 * \varphi_\sigma^{0,1} \Rightarrow C_{n_A} = 0,34 * 0,667^{0,1} = \underline{\underline{0,3265}}$$

**Cz se volí na základě:**

$$\text{Pro počet řad } z < 10 \text{ a } \sigma_{př} < 3 \dots Cz = 3,12 * z^{0,05} - 2,5$$

$$\text{Pro počet řad } z < 10 \text{ a } \sigma_{př} \geq 3 \dots Cz = 4 * z^{0,02} - 3,2$$

$$\text{Pro počet řad } z > 10 \dots Cz = 1 \quad [11]$$

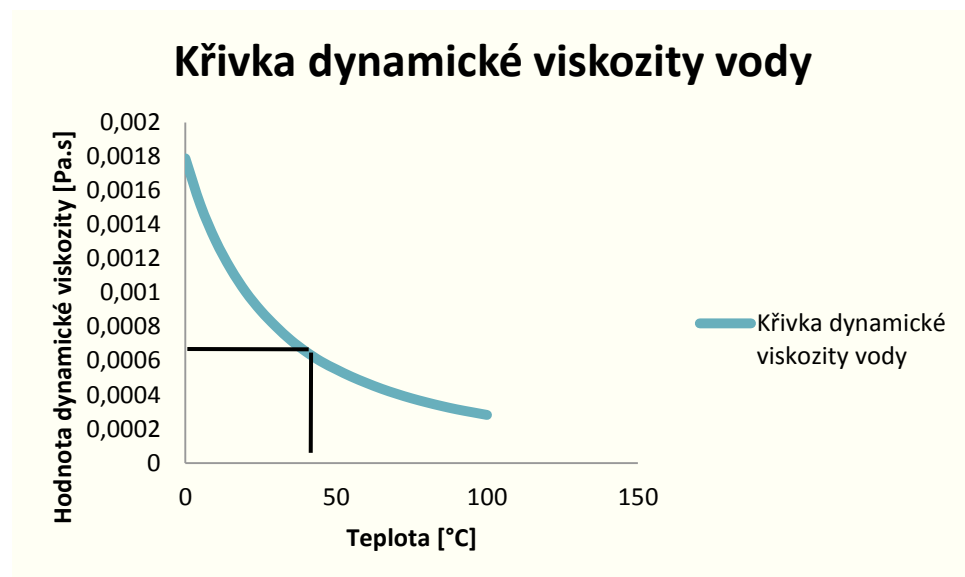
$$\text{Volím počet řad } z < 10 \text{ a } \sigma_{př} \geq 3 \dots C_{z_A} = 4 * z^{0,02} - 3,2 \Rightarrow Cz = 4 * 3^{0,2} - 3,2 = \underline{\underline{0,8889}}$$

## Výpočet dynamické viskozity vody

$$\begin{aligned} \nu_V &= \frac{\eta_V}{\rho_V} \\ \nu_V &= \frac{0,000658}{992} \\ \nu_V &= \underline{\underline{6,633 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}} \end{aligned} \quad [6] \quad [\text{m}^2 \text{ s}^{-1}] \quad (5.23)$$

Kde:  $\rho_V$  Měrná hustota  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

$\eta_V$  Kinematická viskozita  $[\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}]$



## Reynoldsovo číslo

- Pro výpočet Reynoldsova čísla potřebujeme znát hydraulický průměr kanálu, pomocí tohoto průměru jsme schopni přepočítat nekruhový chladicí kanál na velikost kruhového

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{O_K} \quad [11] \quad [\text{m}] \quad (5.24)$$

Kde:	$O_K$	Obvod chladicího kanálu	[m]
	$S$	Plocha kanálu	[m]

$$O_K = 2 * (a + b) \quad [m] \quad (5.25)$$

- Dosadíme rovnici (5.24) a (5.25) do rovnice pro hydraulický průměr (5.26)

$$d_h = \frac{4 * (a * b)}{2 * (a + b)} = \frac{2 * a * b}{a + b} \quad [m] \quad (5.26)$$

$$d_h = \frac{2 * 0,003 * 0,008}{0,003 + 0,008} = \underline{\underline{4,363 * 10^{-3} m}}$$

-nyní můžeme dosadit do vzorce pro Reynoldsovo číslo a vypočítat typ proudění

$$Re = \frac{v_v * d_h}{\nu_v}$$

$$Re = \frac{5 * 4,363 * 10^{-3}}{6,633 * 10^{-7}} \quad [6] \quad [-] \quad (5.27)$$

$$Re = \underline{\underline{32888,59}}$$

Kde:	$v_v$	Rychlost vody	[m.s <sup>-1</sup> ]
	$d_h$	Hydraulický průměr	[m]
	$\nu_v$	Dynamická viskozita	[m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
	$a$	Šířka kanálu	[m]
	$b$	Výška kanálu	[m]

## Prandtlovo číslo

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= \frac{(\eta_V * cp_V)}{\lambda_{OA}} \\ \text{Pr} &= \frac{0,000658 * 4178}{0,633} \\ \text{Pr} &= \underline{\underline{4,343}} \end{aligned} \quad [6] \quad [-] \quad (5.28)$$

Kde:	$\eta_V$	Kinematická viskozita	[Pa.s <sup>-1</sup> ]
	$\lambda_V$	Součinitel tepelné vodivosti	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	$cp_V$	Měrná tepelná kapacita ochranné atmosféry	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]

Výsledný součinitel prostupu tepla mezi ochrannou atmosférou a válcovou plochou.

- Při volbě tohoto vzorce jsem vycházel z uspořádání válcových ploch v trubkovnici a profilu proudění.

$$\begin{aligned} \alpha_{2A} &= 0,35 * \frac{\lambda_V}{d_h} * \text{Re}^{0,6} * \text{Pr}^{0,36} * \chi * Cn_A * Cz_A \\ \alpha_{2A} &= 0,35 * \frac{0,633}{4,363 * 10^{-3}} * 32888,59^{0,6} * 4,343^{0,36} * 1 * 0,3265 * 0,8889 \\ \alpha_{2A} &= \underline{\underline{12830,81 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}}} \end{aligned} \quad [\text{Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}] \quad (5.16)$$

## 5.6. Výpočet součinitele prostupu tepla mezi válcovou plochou a vodou při obdélníkovém uspořádání

$$\alpha_{2B} = 0,033 \frac{\lambda_V}{dh} * \text{Re}^{0,8} * \text{Pr}^{0,4} * \chi * Cn_B * Cz_B \quad [\text{Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}] \quad (5.29)$$



Kde	$d_h$	Hydraulický průměr	[m]
	$\lambda_v$	Součinitel tepelné vodivosti	[Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
	Re	Reynoldsovo číslo	[-]
	$\chi$	Teplotní součinitel-u plynů a kapalin $\chi=1$	[-]
	Pr	Prandtlovo kritérium	[-]
	$C_n$	Součinitel uspořádání trubek	[-]
	$C_Z$	Součinitel závislý na počtu řad	[-]

### Určení $C_n$

$$\begin{aligned}
 S_{př} &= S_1 * d_{vně} \\
 S_{př} &= 2 * 0,006 \\
 S_{př} &= \underline{\underline{0,012m}}
 \end{aligned}
 \quad [7] \quad [m] \quad (5.30)$$

$$\begin{aligned}
 S_{pod} &= S_2 * d_{vně} \\
 S_{pod} &= 2 * 0,006 \\
 S_{pod} &= \underline{\underline{0,012m}}
 \end{aligned}
 \quad [7] \quad [m] \quad (5.31)$$

Kde:	$S_1$	se volí mezi 1,5 – 4	[-]
	$S_2$	se volí mezi 2-3	[-]
	$S_{př}$	Příčná osová vzdálenost mezi válcovými plochami	[m]
	$S_{pod}$	Podélná osová vzdálenost mezi válcovými plochami	[m]

$$\begin{aligned}\sigma_{př} &= \frac{s_{př}}{d_{vně}} = \frac{0,012}{0,006} = 2 \\ \sigma_{pod} &= \frac{s_{pod}}{d_{vně}} = \frac{0,012}{0,006} = 2 \\ \sigma_{uhl} &= \sqrt{\frac{1}{4} * \sigma_{př}^2 * \sigma_{pod}^2} = \sqrt{\frac{1}{4} * 2^2 * 2^2} = 2\end{aligned} \quad [7] \quad [-] \quad (5.32)$$

Kde:  $\sigma_{uhl}$  Poměrný úhlopříčný rozestup [-]

$\sigma_{pod}$  Poměrný podélný rozestup [-]

$\sigma_{př}$  Poměrný příčný rozestup [-]

$$\varphi_0 = \frac{\sigma_{př} - 1}{\sigma_{uhl} - 1} = \frac{2 - 1}{2 - 1} = 1 \quad [7] \quad [-] \quad (5.33)$$

$$0,1 < \varphi_\sigma \leq 1,7 \dots C_n = 0,34 * \varphi_\sigma^{0,1}$$

$$1,7 < \varphi_\sigma \leq 4,5 \text{ a } \sigma_{př} < 3 \dots C_n = 0,275 * \varphi_\sigma^{0,5}$$

$$1,7 < \varphi_\sigma \leq 4,5 \text{ a } \sigma_{př} \geq 3 \dots C_n = 0,34 * \varphi_\sigma^{0,1} \quad [7]$$

$$\text{Volím } C_n 0,1 < \varphi_\sigma \leq 1,7 \dots C_n = 0,34 * \varphi_\sigma^{0,1} \Rightarrow C_{n_B} = 0,34 * 0,667^{0,1} = \underline{\underline{0,3265}}$$

### Cz se volí na základě

$$\text{Pro počet řad } z < 10 \text{ a } \sigma_{př} < 3 \dots C_z = 3,12 * z^{0,05} - 2,5$$

$$\text{Pro počet řad } z < 10 \text{ a } \sigma_{př} \geq 3 \dots C_z = 4 * z^{0,02} - 3,2$$

$$\text{Pro počet řad } z > 10 \dots C_z = 1 \quad [7]$$

$$\text{Volím počet řad } z > 10 \dots C_{z_B} = 1$$

## Výpočet dynamické viskozity

$$\begin{aligned} \nu_V &= \frac{\eta_V}{\rho_V} \\ \nu_V &= \frac{0,000658}{992} \\ \nu_V &= \underline{\underline{6,633 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}} \end{aligned} \quad [6] \quad [\text{m}^2 \text{ s}^{-1}] \quad (5.34)$$

Kde:  $\rho_V$  Měrná hustota  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

$\eta_V$  Kinematická viskozita  $[\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}]$

## Reynoldsovo číslo

- Pro výpočet Reynoldsova čísla použijeme stejný hydraulický průměr, jako u předešlého výpočtu viz rovnice (6.24)

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{v_v * d_h}{\nu_V} \\ \text{Re} &= \frac{5 * 4,363 * 10^{-3}}{6,633 * 10^{-7}} \\ \text{Re} &= \underline{\underline{32888,59}} \end{aligned} \quad [6] \quad [-] \quad (5.35)$$

Kde:  $v_v$  Rychlost vody  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

$d_h$  Hydraulický průměr  $[\text{m}]$

$\nu_V$  Dynamická viskozita  $[\text{m}^2 \text{ s}^{-1}]$

## Prandtlovo číslo

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= \frac{(\eta_V * c_{p_V})}{\lambda_V} \\ \text{Pr} &= \frac{(0,000658 * 4178)}{0,633} \\ \text{Pr} &= \underline{\underline{4,343}} \end{aligned} \quad [6] \quad [-] \quad (5.36)$$

Kde:  $\eta_V$  Kinematická viskozita  $[\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}]$

$\lambda_v$	Součinitel tepelné vodivosti	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$
$cp_v$	Měrná tepelná kapacita ochranné atmosféry	$[\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$

Výsledný součinitel prostupu tepla mezi ochrannou atmosférou a válcovou plochou.

- Při volbě tohoto vzorce jsem vycházel z uspořádání válcových ploch v trubkovnici a profilu proudění.

$$\alpha_{2B} = 0,033 * \frac{\lambda_v}{d_h} * \text{Re}^{0.8} * \text{Pr}^{0.4} * \chi * Cn_B * Cz_B$$

$$\alpha_{2B} = 0,033 * \frac{0,633}{4,363 * 10^{-3}} * 32888,59^{0.8} * 4,343^{0.4} * 1 * 0,3265 * 1$$

$$\alpha_{2B} = \underline{\underline{11554,94 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}}}$$

$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \text{ (5.29)}$

## 5.7. Určení členu $\Lambda_L$

$$\Lambda_L = \frac{2 * \pi}{\frac{1}{\lambda_m} * \ln \frac{d_{vně}}{d_{vnitř}}} = \frac{2 * \pi}{\frac{1}{385} * \ln \frac{0,006}{0,004}} = \underline{\underline{5966,05 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}}} \quad [10] \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}] \text{ (5.37)}$$

Kde:  $\lambda_m$  Součinitel prostupu tepla stěny  $[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$

$d_{vně}$  Vnější průměr válcové plochy  $[\text{m}]$

$d_{vnitř}$  Vnitřní průměr válcové plochy  $[\text{m}]$

- Součinitel  $\lambda_m$  bude zvolen s ohledem na použitý materiál válcové plochy, která bude ve výměníku, v tomto případě se bude jednat o měď.

## 5.8. Výsledný součinitel prostupu tepla

### Pro šachovnicové uspořádání válcové plochy

$$\begin{aligned}
 k_{1A} &= \frac{\pi}{\frac{1}{d_{vnit} * \alpha_1} + \frac{1}{d_{vně} * \alpha_{2A}} + \frac{\pi}{\Lambda_L}} \\
 k_{1A} &= \frac{\pi}{\frac{1}{0,004 * (5,11 * 72)} + \frac{1}{0,006 * 12830,81} + \frac{\pi}{5966,05}} \\
 k_{1A} &= \underline{\underline{4,53 Wm^{-2} K^{-1}}} \\
 &[10] \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (5.38)
 \end{aligned}$$

### Pro obdélníkové uspořádání válcové plochy

$$\begin{aligned}
 k_{1B} &= \frac{\pi}{\frac{1}{d_{vnit} * \alpha_1} + \frac{1}{d_{vně} * \alpha_{2B}} + \frac{\pi}{\Lambda_L}} \\
 k_{1B} &= \frac{\pi}{\frac{1}{0,004 * (5,11 * 72)} + \frac{1}{0,006 * 11554,94} + \frac{\pi}{5966,05}} \\
 k_{1B} &= \underline{\underline{4,52 Wm^{-2} K^{-1}}} \\
 &[10] \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (5.39)
 \end{aligned}$$

Kde:	$\alpha_1$	Součinitel prostupu tepla mezi OA a trubkou	$[Wm^{-2}K^{-1}]$
	$\alpha_{2A}$	Součinitel prostupu tepla mezi trubkou a vodou	$[Wm^{-2}K^{-1}]$
	$\alpha_{2B}$	Součinitel prostupu tepla mezi trubkou a vodou	$[Wm^{-2}K^{-1}]$
	$\Lambda_L$	Součinitel vztažený na délku válcové plochy	$[Wm^{-2}K^{-1}]$
	$d_{vně}$	Vnější průměr válcové plochy	$[m]$
	$d_{vnitř}$	Vnitřní průměr válcové plochy	$[m]$

## 5.9. Výsledný výpočet teplosměnné plochy

$$\begin{aligned}
 P &= Vn * c_{pAr} * \Delta t_1 \\
 P &= 0,00094 * 520 * 583,15 \quad [10] \quad [\text{kW}] \quad (5.40) \\
 P &= \underline{\underline{285\text{W} = 0,285\text{kW}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= k_{1A} * \Delta t_{stř} * S_A \quad \square \quad S_A = \frac{P}{k_{1A} * \Delta t_{stř}} \\
 S_A &= \frac{285}{4,53 * 370,55} \quad [\text{m}^2] \quad (5.41) \\
 S_A &= \underline{\underline{0,169\text{m}^2}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= k_{1B} * \Delta t_{stř} * S_B \quad \square \quad S_B = \frac{P}{k_{1B} * \Delta t_{stř}} \\
 S_B &= \frac{285}{4,52 * 370,55} \quad [\text{m}^2] \quad (5.42) \\
 S_B &= \underline{\underline{0,170\text{m}^2}}
 \end{aligned}$$

Kde:	P	Teplo sdělené prostupem	[W]
	k <sub>1</sub>	Součinitel prostupu tepla	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
	S <sub>A</sub>	Teplosměnná plocha výměníku	[m <sup>2</sup> ]
	S <sub>B</sub>	Teplosměnná plocha výměníku	[m <sup>2</sup> ]
	Δt <sub>stř</sub>	Střední logaritmický rozdíl teplot vody a OA	[K]
	Vn	Objem ochranné atmosféry	[kg.s]
	c <sub>pAr</sub>	Měrná tepelná kapacita ochranné atmosféry	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
	Δt <sub>1</sub>	Rozdíl teplot vody a OA na vstupu	[K]

## 5.10. Výpočet délky teplosměnné plochy

$$S_A = \pi * d * L_A = \square L_A = \frac{S_A}{\pi * d_{vně}} = \frac{0,169}{\pi * 0,006} = \underline{\underline{8,965m}} \quad [\text{m}] \quad (5.41)$$

$$S_B = \pi * d * L_B = \square L_B = \frac{S_B}{\pi * d_{vně}} = \frac{0,170}{\pi * 0,006} = \underline{\underline{9,018m}}$$

Kde  $S$  Teplosměnná plocha chladiče  $[\text{m}^2]$

$d_{vně}$  Vnější průměr trubky  $[\text{m}]$

- Vypočtenou délku teplosměnné plochy musíme podělit počtem válcových ploch v trubkovnici, abychom zjistili délku jedné válcové plochy. V tomto případě se jedná o délku 0,125m. V případě že by výměníkem proudil plyn o vyšší teplotě než 350°C, volím délku jedné válcové plochy 0,140m, aby bylo zajištěno dostatečné chlazení v případě přehřátí.

## 5.11. Potřebné množství vody pro chlazení

$$m_v = \frac{P}{c_{p_v} * \Delta t_v} = \frac{285}{4178 * 300,65} = \underline{\underline{0,000227 \text{kg.s}^{-1}}} \quad [10] \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (5.42)$$

- Po převodu lze potřebné množství vody vyjádřit hodnotou  $m_v = 0,227 \text{m}^3 . \text{s}^{-1}$

Kde:  $c_{p_v}$  Měrná tepelná kapacita vody  $[\text{J.kg}^{-1} . \text{K}^{-1}]$

$\Delta t_v$  Rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou vody  $[\text{K}]$

## 6. Tlakové ztráty ve výměníku

### 6.1. Tlakové ztráty ochranné atmosféry

#### 6.1.1. Stanovení součinitele tření

$$\Lambda = \frac{A}{\text{Re}^n} = \frac{0,129}{5,11^{0,12}} = \underline{\underline{0,106}} \quad [6] \quad [-] \quad (6.1)$$

A-pro drsné kovové potrubí A=0,129

n -pro drsné kovové potrubí n=0,12

Kde:  $\Lambda$  Součinitel tření [-]

A Koeficient [-]

n Koeficient [-]

#### 6.1.2. Výpočet tlakové ztráty třením

$$\Delta p_{ztr} = \Lambda * \frac{L_V}{D_h} * \frac{v^2 * \rho_{Ar}}{2} \quad [6] \quad [\text{Pa}] \quad (6.2)$$

$$\Delta p_{ztr0,020} = 0,106 * \frac{0,020}{0,07} * \frac{0,145^2 * 1,05}{2} * 1 = \underline{\underline{3,343 * 10^{-4} Pa}}$$

$$\Delta p_{ztr0,140} = 0,106 * \frac{0,140}{0,004} * \frac{1,146^2 * 1,05}{2} * 72 = \underline{\underline{184,177 Pa}}$$

- Výpočet celkové tlakové ztráty

$$\begin{aligned} \Delta p_{ztr} &= \Delta p_{ztr0,020} + \Delta p_{ztr0,140} \\ \Delta p_{ztr} &= 3,343 * 10^{-4} + 184,177 \\ \Delta p_{ztr} &= \underline{\underline{184,178 Pa = 0,0001842 MPa}} \quad [\text{Pa}] \quad (6.3) \end{aligned}$$



## 6.2. Výpočet tlakových ztrát místními odpory

V tabulkách je uveden druh místního odporu v navrženém kanálu a k němu přiřazená hodnota ztrátového součinitele  $\xi$ .

$$\Delta p_{zm} = \xi * \frac{v^2 * \rho}{2} \quad [6] \quad [\text{Pa}] \quad (6.4)$$

### 6.2.1. Ztráta na vtoku s rozšířeným průřezem

a) součinitel tření na vtoku s rozšířeným průřezem-dle [12]

$$\xi_3 = 1 - \frac{S}{S_1} = 1 - \frac{1,1309 * 10^{-4}}{7,147 * 10^{-3}} = \underline{\underline{0,999}} \quad [12] \quad [-] \quad (6.5)$$

$$S = \frac{\pi * d_{vnitř}^2}{4} = \frac{\pi * 0,012^2}{4} = \underline{\underline{1,1309 * 10^{-4} m^2}} \quad [m^2] \quad (6.6)$$

$$S_1 = \frac{\pi * d_v^2}{4} = \frac{\pi * (0,1^2 - 0,03^2)}{4} = \underline{\underline{7,147 * 10^{-3} m^2}}$$

Kde:	$\xi_3$	Součinitel tření na vtoku s rozšířeným průřezem	$[-]$
	$\xi_7$	Součinitel tření na vtoku se zúženým průřezem	$[-]$
	S	Průřez trubky	$[m^2]$
	$S_1$	Průřez vtoku	$[m^2]$
	$d_{vnitř}$	Vnitřní průměr trubky	$[m]$
	$d_v$	Průměr vtoku	$[m]$

b) Výpočet tlakové ztráty na vstupním průřezu

$$\Delta p_{Zst1} = \xi_3 * \frac{v^2 * \rho}{2} = 0,999 * \frac{9,214^2 * 1,05}{2} = \underline{\underline{44,527 Pa}} \quad [6] \quad [Pa] \quad (6.7)$$

c) Součinitel tření na vtoku s náhlým zúžením dle přílohy 1

$$\xi_4 = 0,5 * \left[ 1 - \frac{S_2}{S_1} \right] = 0,5 * \left[ 1 - \frac{1,256 * 10^{-5}}{7,147 * 10^{-3}} \right] = \underline{\underline{0,499}} [12] \quad [-] \quad (6.8)$$

$$S_2 = \frac{\pi * d_{vnitř}^2}{4} = \frac{\pi * 0,004^2}{4} = \underline{\underline{1,256 * 10^{-5} m^2}} \quad [m^2] \quad (6.9)$$

- Hodnota  $S_1$  byla převzata z rovnice (6.6)

d) Výpočet tlakové ztráty na vstupním průřezu

$$\Delta p_{Zst2} = \xi_4 * \frac{v_v^2 * \rho}{2} * n_t = 0,499 * \frac{1,146^2 * 1,05}{2} * 72 = \underline{\underline{24,77 Pa}} \quad [6] \quad [Pa] \quad (6.10)$$

### 6.2.2. Celková tlaková ztráta

$$\begin{aligned} \Delta p_Z &= \Delta p_{Ztř} + \Delta p_{Zmst1} + \Delta p_{Zmst2} \\ \Delta p_Z &= 184,178 + 44,527 + 24,77 \\ \Delta p_Z &= \underline{\underline{253,48 Pa = 0,00025348 MPa}} \end{aligned} \quad [Pa] \quad (6.11)$$

Kde:  $\Delta p_{Ztř}$  Tlaková ztráta třením [Pa]

$\Delta p_{Zmst1}$  Tlaková ztráta na vstupním průřezu do chladiče [Pa]

$\Delta p_{Zmst2}$  Tlaková ztráta na vstupním průřezu do trubkovnice [Pa]

### 6.3. Tlakové ztráty vody v potrubí s šachovnicovým uspořádáním válcových ploch

#### Hydraulický průměr

$$d_h = \frac{4 * S}{O} \quad [11] \quad [m] \quad (6.12)$$

Kde:  $O_K$  Obvod chladicího kanálu [m]

$S$  Plocha kanálu [m]

$$O_K = 2 * (a + b) \quad [m] \quad (6.13)$$

- Dosadíme rovnice (6.12) a (6.13) pro obvod a průřez chladicího kanálu rovnice (6.14) pro hydraulický průměr

$$d_h = \frac{4 * (a * b)}{2 * (a + b)} = \frac{2 * a * b}{a + b} \quad [m] \quad (6.14)$$

$$d_h = \frac{2 * 0,003 * 0,008}{0,003 + 0,008} = \underline{\underline{4,363 * 10^{-3} m}}$$

#### 6.3.1. Stanovení součinitele tření

$$\Lambda = \frac{A}{Re^n} = \frac{0,129}{32888,59^{0,12}} = \underline{\underline{0,037}} \quad [6] \quad [-] \quad (6.15)$$

A-pro drsné kovové potrubí A=0,129

n-pro drsné kovové potrubí n=0,12

Kde :  $\Lambda$  Součinitel tření

A Koeficient

n Koeficient

### 6.3.2. Výpočet tlakové ztráty třením

- Celková délka chladicího kanálu v jednom patře chladiče byla odměřena v Autodesk Autocad 2011 na délku  $L_k = 993,5\text{mm}$

$$\Delta p_{Ztr} = \Lambda * \frac{L_v}{d_h} * \frac{v_v^2 * \rho}{2} \quad [6] \quad [\text{Pa}] \quad (6.16)$$

$$\Delta p_{Ztr0,0704} = 0,037 * \frac{0,0704}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 2 = \underline{\underline{14895,66\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,0780} = 0,037 * \frac{0,0780}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 2 = \underline{\underline{16503,71\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,090} = 0,037 * \frac{0,090}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 2 = \underline{\underline{19042,74\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,039} = 0,037 * \frac{0,039}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 2 = \underline{\underline{8251,86\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,104} = 0,037 * \frac{0,104}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 1 = \underline{\underline{11002,48\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,063} = 0,037 * \frac{0,063}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 1 = \underline{\underline{6664,96\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,035} = 0,037 * \frac{0,035}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 2 = \underline{\underline{7405,51\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,029} = 0,037 * \frac{0,029}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 1 = \underline{\underline{3067,99\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,026} = 0,037 * \frac{0,026}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 1 = \underline{\underline{2750,62\text{Pa}}}$$

$$\Delta p_{Ztr0,013} = 0,037 * \frac{0,013}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 1 = \underline{\underline{1375,31\text{Pa}}}$$

- Výpočet celkové tlakové ztráty pro jedno patro chladiče.

$$\begin{aligned}
 \Delta p_{ztr} &= \Delta p_{ztr0,074} + \Delta p_{ztr0,078} + \Delta p_{ztr0,090} + \Delta p_{ztr0,039} + \Delta p_{ztr0,104} + \\
 &+ \Delta p_{ztr0,063} + \Delta p_{ztr0,035} + \Delta p_{ztr0,029} + \Delta p_{ztr0,026} + \Delta p_{ztr0,013} \\
 \Delta p_{ztr} &= 14895,66 + 16503,71 + 19042,74 + 8251,86 + 11002,48 + \\
 &+ 6664,96 + 7405,51 + 3067,99 + 2750,62 + 1375,31 \quad [\text{Pa}] \quad (6.17) \\
 \Delta p_{ztr} &= \underline{\underline{90960,84 \text{ Pa}}}
 \end{aligned}$$

#### 6.4. Výpočet tlakových ztrát místními odpory

V tabulkách je uveden druh místního odporu v navrženém kanálu a k němu přiřazená hodnota ztrátového součinitele  $\xi$ .

$$\Delta p_{Zm} = \xi * \frac{v_v^2 * \rho}{2} \quad [6] \quad [\text{Pa}] \quad (6.18)$$

##### 6.4.1. Ztráta na vtoku s rozšířeným průřezem

a) součinitel tření na vtoku s rozšířeným průřezem dle [12]

$$\xi_3 = 1 - \frac{S_v}{S_1} = 1 - \frac{2,83 * 10^{-5}}{2,4 * 10^{-5}} = \underline{\underline{0,032}} [12] \quad [-] \quad (6.19)$$

$$\begin{aligned}
 S_v &= \frac{\pi * d_v^2}{4} = \frac{\pi * 0,006^2}{4} = \underline{\underline{2,83 * 10^{-5} \text{ m}^2}} \\
 S_1 &= a * b = 0,008 * 0,003 = \underline{\underline{2,4 * 10^{-5} \text{ m}^2}} \quad [\text{m}^2] \quad (6.20)
 \end{aligned}$$

Kde:  $\xi_3$  - součinitel tření na vtoku

$S_v$  - průřez vtoku

$S_1$  - průřez chladičeho kanálu

$d_v$  - průměr vtoku

a - výška kanálu

b - šířka kanálu

b) výpočet tlakové ztráty na vstupním průřezu

$$\begin{aligned}\Delta p_{Zst} &= \xi_3 * \frac{w^2 * \rho}{2} \\ \Delta p_{Zst} &= 0,032 * \frac{5^2 * 992}{2} \quad [6] \quad [\text{Pa}] \quad (6.18) \\ \Delta p_{Zst} &= \underline{\underline{396,8 \text{ Pa}}}\end{aligned}$$

#### 6.4.2. Výpočet ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90°

a) součinitel místní ztráty v ohybu 90°

$$\xi_6 = A * B * C \quad [-] \quad (6.21)$$

$$\xi_6 = 1,2 * 1,25 * 1,14 = \underline{\underline{1,71}}$$

Dle [3] jsem použil hodnoty A = 1,2; B = 1,25; C = 1,14

Kde  $\xi_6$  Součinitel tření na vtoku [-]

$n_{k90}$  Počet kolen s ostrým ohybem 90° [-]

b) výpočet místní ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90°

$$\Delta p_{Zn90} = \xi_6 * \frac{v_v^2 * \rho}{2} * n_{K90} \quad [\text{Pa}] \quad (6.22)$$

$$\Delta p_{Zn90} = 1,71 * \frac{5^2 * 998}{2} * 20 = \underline{\underline{426645 \text{ Pa}}}$$

## 6.5. Celková tlaková ztráta

- Protože se výměník skládá z několika pater kanálu, je nutné vynásobit tlakovou ztrátu třením počtem těchto pater. V tomto případě se výměník skládá z 14 pater.

$$\begin{aligned}\Delta p_Z &= \Delta p_{Ztř} + \Delta p_{Zn90} + \Delta p_{Zmst} \\ \Delta p_Z &= 14 * (90960,84 + 426645) + 396,8 \quad [6] \quad [Pa] \quad (6.23) \\ \Delta p_Z &= \underline{\underline{7246878,56 Pa = 7,25 MPa}}\end{aligned}$$

## 6.6. Tlakové ztráty vody v potrubí s obdélníkovým uspořádáním válcových ploch

- Pro výpočet tlakové ztráty u tohoto uspořádání válcových ploch použijeme stejné hodnoty hydraulického průměru a součinitele tření viz rovnice (6.14) a (6.15).

### 6.6.1. Výpočet tlakové ztráty třením

- Celková délka chladicího kanálu v jednom patře chladiče byla odměřena v Autodesk Autocad 2011 na délku  $L_k = 983\text{mm}$

$$\Delta p_{Ztř} = \Lambda * \frac{L_v}{D_h} * \frac{v^2 * \rho}{2} \quad [6] \quad [Pa] \quad (6.16)$$

$$\Delta p_{Ztř0,060} = 0,037 * \frac{0,060}{4,363 * 10^{-3}} * \frac{5^2 * 998}{2} * 14 = \underline{\underline{88866,15 Pa}}$$

- Výpočet celkové tlakové ztráty

$$\begin{aligned}\Delta p_{Ztř} &= \Delta p_{Ztř0,060} \\ \Delta p_{Ztř} &= \underline{\underline{88866,15 Pa}} \quad [Pa] \quad (6.3)\end{aligned}$$

## 6.7. Výpočet tlakových ztrát místními odpory

V tabulkách je uveden druh místního odporu v navrženém kanálu a k němu přiřazená hodnota ztrátového součinitele  $\xi$ .

$$\Delta p_{zm} = \xi * \frac{v_v^2 * \rho}{2} \quad [6] \quad [\text{Pa}] \quad (6.24)$$

Pro další výpočty použijí stejné hodnoty, jaké jsou uvedeny v kapitole 6.4.1. Konkrétně se jedná o rovnice (6.19) a (6.20).

### 6.7.1. Výpočet ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90°

a) součinitel místní ztráty v ohybu 90°

$$\xi_6 = A * B * C \quad [-] \quad (6.25)$$

$$\xi_6 = 1,2 * 1,25 * 0,9 = \underline{\underline{1,35}}$$

- Dle [3] jsem použil hodnoty A = 1,2; B = 1,25; C = 0,9

Kde  $\xi_6$  Součinitel tření na vtoku [-]

$n_{k90}$  Počet kolen s ostrým ohybem 90° [-]

b) výpočet místní ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90°

$$\Delta p_{zn90} = \xi_6 * \frac{v_v^2 * \rho}{2} * n_{k90} \quad [\text{Pa}] \quad (6.26)$$

$$\Delta p_{zn90} = 1,35 * \frac{5^2 * 998}{2} * 26 = \underline{\underline{437872,5 \text{ Pa}}}$$



## 6.8. Celková tlaková ztráta

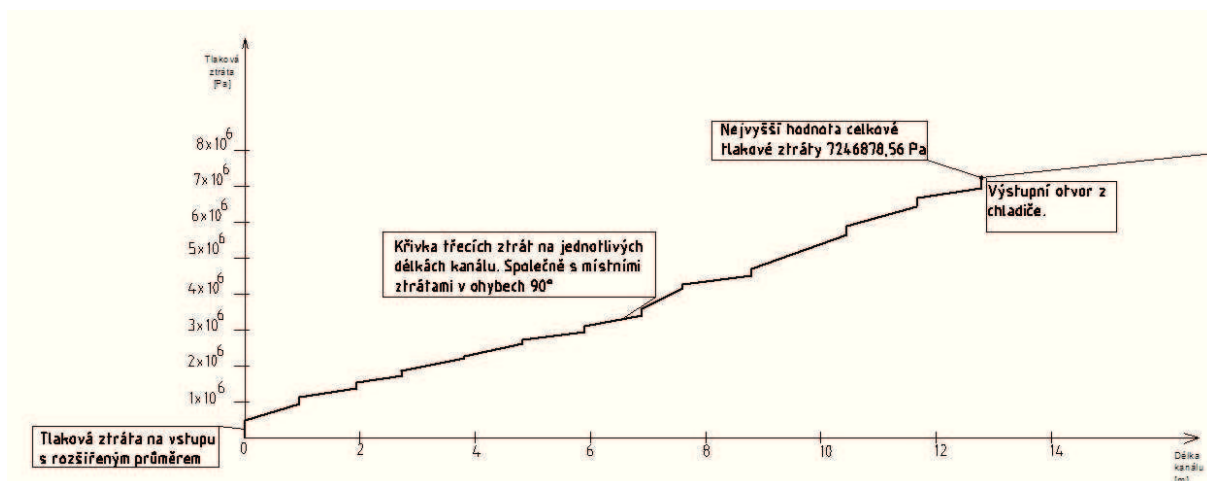
- Protože se výměník skládá z několika pater kanálů, je nutné vynásobit tlakovou ztrátu třením počtem těchto pater. V tomto případě se výměník skládá z 14 pater.

$$\Delta p_Z = \Delta p_{Ztr} + \Delta p_{Zn90} + \Delta p_{Zmst}$$

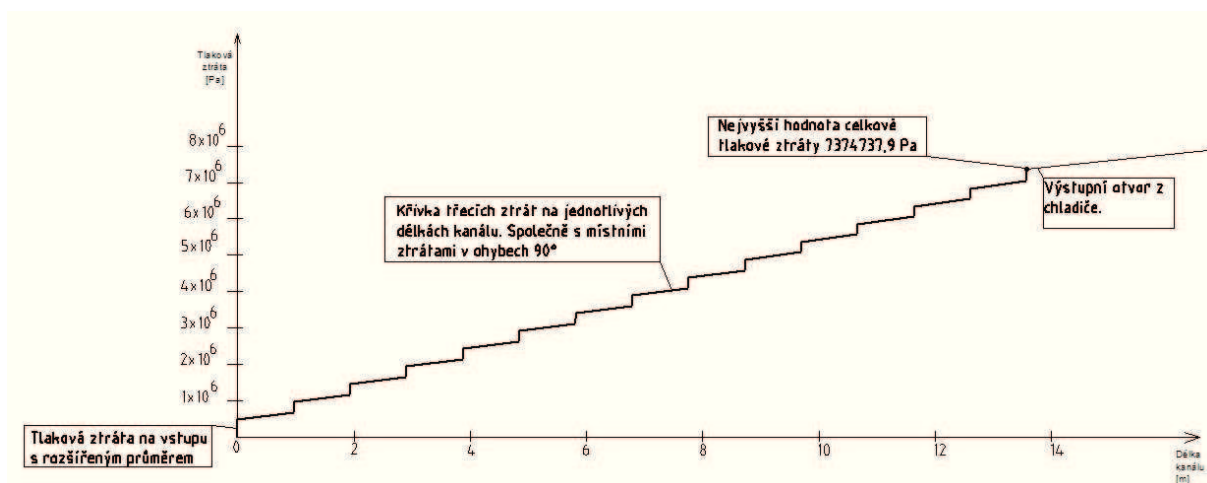
$$\Delta p_Z = 14 * (88866,15 + 437872,5) + 396,8 \quad [6] \quad [Pa] \quad [5]$$

$$\Delta p_Z = \underline{\underline{7374737,9 Pa = 7,37 MPa}}$$

Graf tlakových ztrát víceúčelového výměníku



Graf tlakových ztrát jednoúčelového výměníku



## 7. Technický popis zařízení

Výměník argonu se skládá z několika jednotlivých částí, a je konstruován ve dvou variantách. Pro výrobu obou těchto varianty jsou použity shodné materiály, přičemž plášť výměníku je chrom-martenzitická nerezová ocel a vnitřní trubkovnice je z mědi.

V případě víceúčelového výměníku je plášť složený ze dvou půlek ohýbaného plechu tloušťky 5mm a následně svařen a opracován viz obr. č. 18. pozice 1. Přívod chladicí vody je proveden za pomoci trubky, na jejímž konci je závit, na který se našroubuje bezúkapová spojka, viz obr. č. 18. pozice 11. Uvnitř pláště jsou přivařeny packy na, které se následně umístí trubkovnice.

Na spodní části výměníku je přivařena příruba, která slouží pro připojení výměníku k peci, viz obr. č. 18. pozice 8. V případě rozebíratelného uspořádání je na vrchní části umístěná rovněž příruba, ke které se následně připojí víko, viz obr. č. 18. pozice 3. Středem výměníku prochází šestihranná tyč, která slouží, jako nahlížecký otvor pro možnost sledování tavby, viz obr. č. 18. pozice 5. Uchycení výměníku k peci je realizováno pomocí šroubového spojení a musí být zatěsněno těsněním, které se vloží mezi příruby.

Uvnitř výměníku se nachází vodou chlazená trubkovnice, která se skládá z dvou plechů tloušťky 3mm ve kterých jsou vyvrtány díry velikosti 6mm a následně zahloubeny viz obr. č. 18. pozice 12. Mezi tyto plechy jsou zavařeny měděné trubky, přes které proudí plyn, viz obr. č. 18. pozice 9. Pro správnou funkci chlazení jsou mezi trubky vloženy příčky, na kterých je vytvořen kanál tak aby voda protékala rovnoměrně kolem každé trubky viz obr. č. 18. pozice 10. Po vložení do pláště je potom celá trubkovnice zajištěná proti pohybu a dobře utěsněna, aby nedocházelo k úniku plynu mimo výměník.

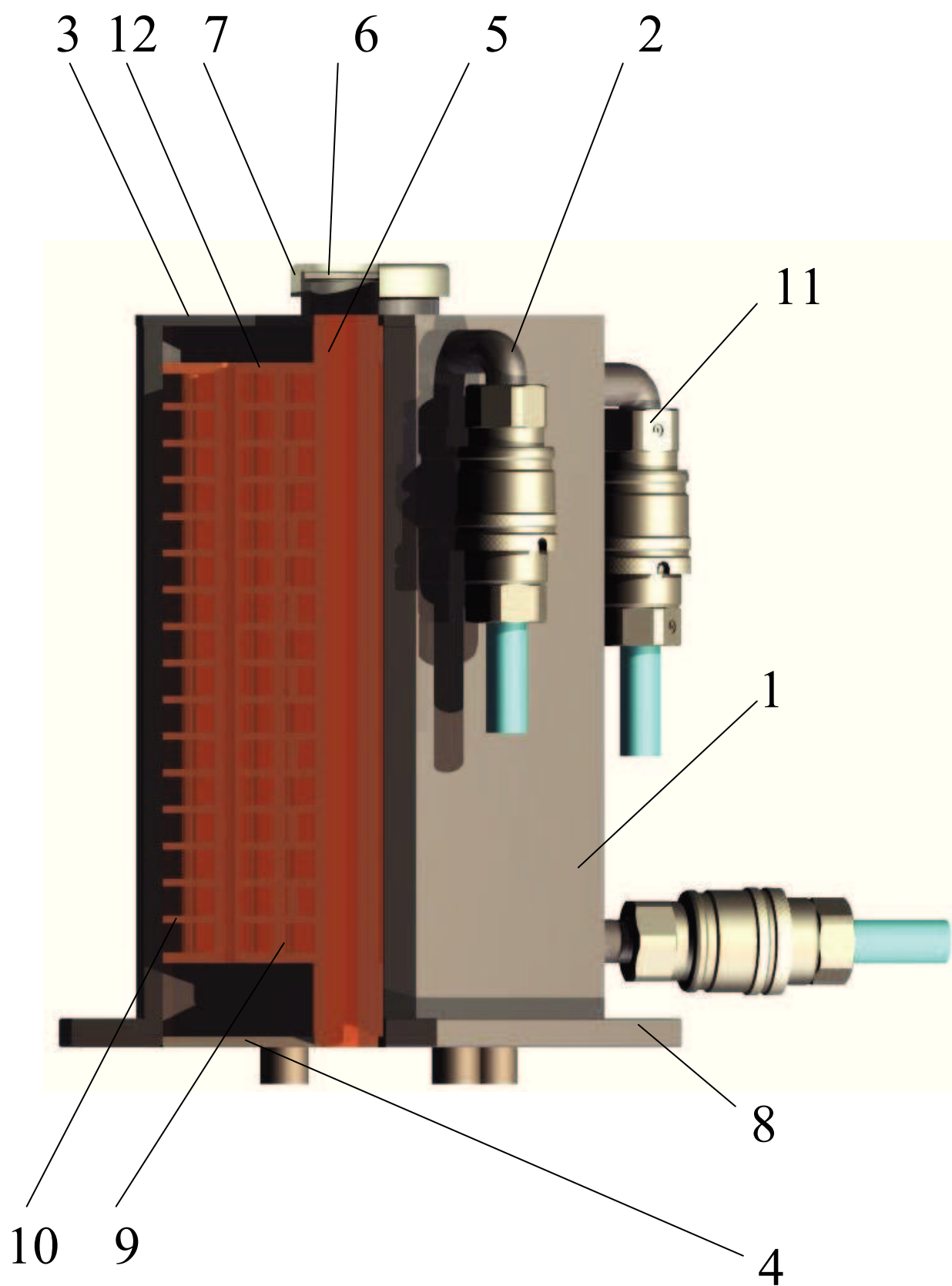
Celý výměník je potom uzavřen vrchním víkem a to buď tak, že v případě rozebíratelného uspořádání je spojen šroubovým spojením k vrchní přírubě anebo na pevně přivařen k plášti viz obr. č. 18. pozice 3 a 4. Na víku je přivařena trubka se závitem, která slouží k našroubování víčka se skličkem, přes které je možné sledovat tavbu, toto víčko pak musí být taktéž hermeticky utěsněno, viz obr. č. 18. pozice 6 a 7.

V další variantě, která je na obr. č. 19., je rovněž výměník, ale je jednoúčelový. Jeho plášť je opět svařenec, který je složen ze dvou plechů ohnutých do tvaru „L“ viz obr. č.

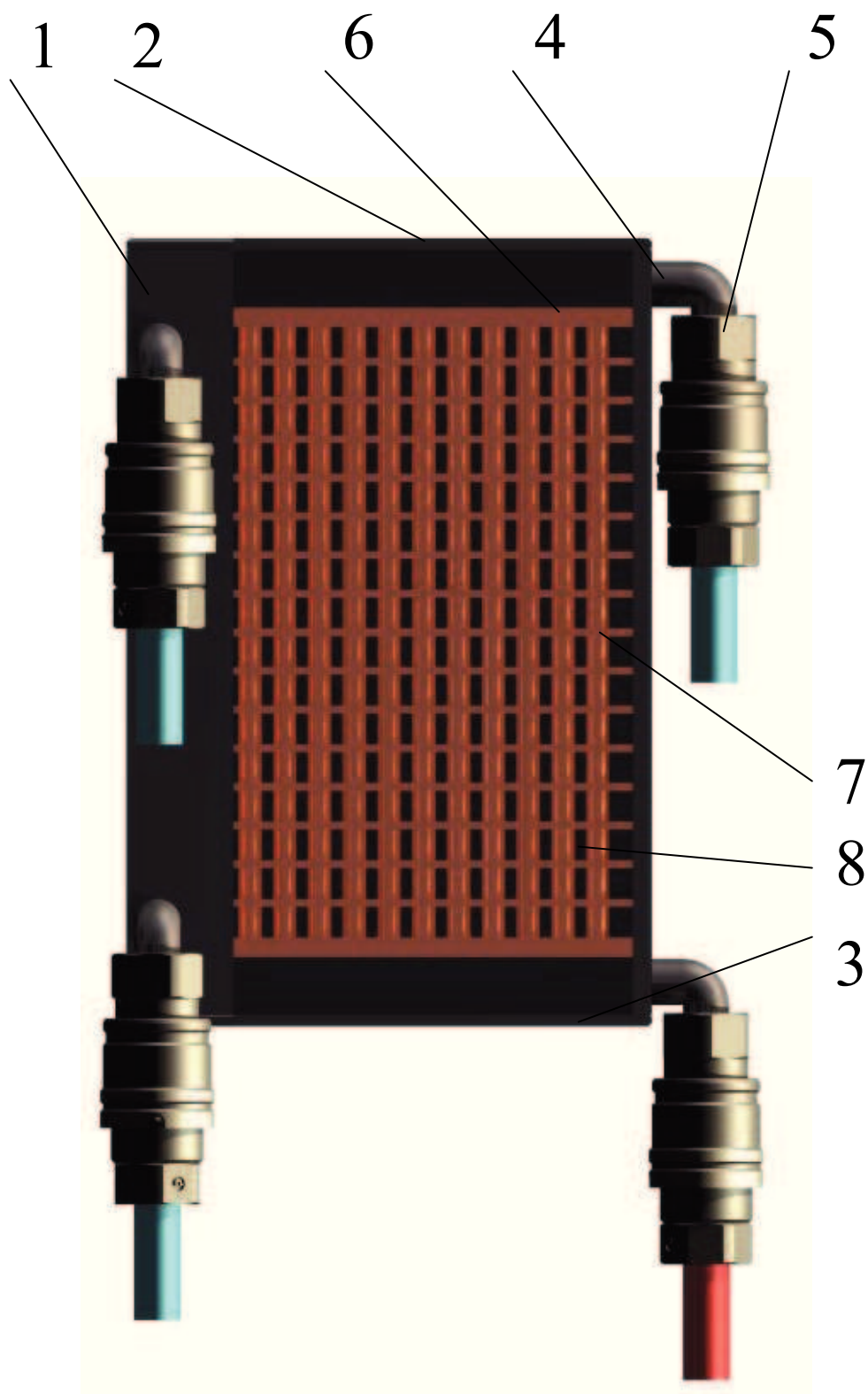
19. pozice 1. Na jedné straně jsou přivařeny packy s dírami  $\phi 13$ , pomocí kterých se potom připevní výměník k peci. Přívod a odvod chladicí vody a plynu je proveden za pomoci trubky, na jejímž konci je závit M12, na který se našroubuje bezúkapová spojka, viz obr. č. 19. pozice 4 a 5.

Do výměníku se opět vloží trubkovnice, která se umístí na vnitřní úchyty a následně zajistí proti posunutí. Trubkovnice se skládá z dvou plechu tloušťky 3mm, ve kterých jsou vyvrtány díry a následně zahloubeny viz obr. č. 19. pozice 6. Trubkovnice je dále složená jako v minule variantě viz obr. č. 19. pozice 7. a 8., jen s tím rozdílem že zde neprochází žádný nahlížecí otvor a trubky jsou jinak uspořádány.

Celý výměník je potom ze spodu i z vrchu uzavřen víkem, které je hermeticky uzavřeno, aby nedocházelo k úniku plynu, viz obr. č. 19. pozice 2 a 3.



Obr. č. 18. Schéma víceúčelového výměníku s popisem



Obr. č. 19. Schéma jednoúčelového výměníku s popisem

## 8. Závěr

Tato práce se zabývala návrhem chladiče argonu a jeho konstrukčních variant tak, aby bylo možné zchladit horkou ochrannou atmosféru, která se nachází v peci. Při výpočtech bylo vycházeno z rovnice tepelné bilance, která byla upravena tak aby bylo možné zjistit kolik vody je nutné k uchlazení horkého plynu. Další důležitou součástí výpočtu je zjištění součinitele prostupu tepla, pomocí kterého byla zjištěna potřebná velikost teplosměné plochy. Správnost proudění a tlakových ztrát byly ověřeny ve výpočetním programu Ansys CFX, kde byly použity hodnoty z návrhového výpočtu.

K vypracování práce byl použit textový editor Microsoft Word, dalšími softwary, které byly použity k nákresům a nezbytným výpočtům, jsou Autodesk AutoCad 2011 a Microsoft Excel.

Při samotném návrhu chladiče bylo vycházeno z požadavků na zařízení, které byly formulovány v požadavkovém listě. Hlavním kritériem byla co nejmenší velikost chladiče z důvodu možného připojení chladiče k nahlížecímu otvoru pece. Proto bylo nutné uspořádat vnitřní plochy chladiče tak, aby bylo docíleno minimalizace pracovního prostoru. V případě že by nebylo možné tento víceúčelový chladič využít, byla navrhována varianta bez nahlížecího otvoru s možností připojení na stávající nahlížecí otvor pomocí závitů M12.

Celkový model sestavy chladiče argonu byl zpracován v programu Autodesk Inventor 2011. Výkresová dokumentace byla vytvořena převedením 3D modelu do 2D podoby a následným zpracováním v programu Autodesk AutoCad 2011.

## 9. Seznam použité literatury

### Knihy a časopisy

- [1] HUBKA, V. *Konstrukční nauka: Obecný model postupu při konstruování*. Zürich: Heurista, 1995. 118 s. ISBN 80-90 1135-0-8.
- [2] KADLEC, Z. *Termomechanika: Návod do cvičení*. Vydání druhé. Ostrava: Editační středisko VŠB-TU. 2008. 100 s. ISBN 978-80-248-1736-1
- [3] VOMOČIL, Z., HAJKR Z., JUREČKA P. *Cvičení do sdílení tepla a proudění*. Vydání první. Ostrava: Editační středisko VŠB-TUO. 2000. 100 s. ISBN 80-7078-793-7.
- [4] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Vydání první. Albra 2003. 868 s. ISBN 80-86490-74-2
- [5] Podklady poskytnuté vedoucím Diplomové práce.
- [6] PŘÍHODA, M., RÉDL, M. *Sdílení tepla a proudění*. Vydání první. Ostrava: Editační středisko VŠB-TUO. 1998. 180 s. ISBN 80-7078-549-7.
- [7] BUDAJ, F., *Parní kotle podklady pro tepelný výpočet*. Vydání druhé. Praha: SNTL, 1976. 288 s.
- [8] SAZIMA, M., *Tabulky sdílení tepla*. Vydání první. Praha: Editační středisko ČVUT. 1982. 114 s.
- [9] RAŽNJEVIĆ. K., *Termodynamické tabulky*. Vydání první. Bratislava: Alfa, 1984. 336 s.
- [10] DVOŘÁK. Z., *Výměníky tepla ( pro hydraulické a pneumatické stroje )*. Vydání třetí. Praha: Editační středisko ČVUT. 1992. 121 s.
- [11] DLOUHÝ. T., *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*. Vydání třetí. Praha: Editační středisko ČVUT. 2007. 212 s. ISBN 978-80-01-03757-7

- [12] BÁLEK. S., *Tepelně technické tabulky a diagramy*. Vydání druhé. Ostrava: Editační středisko VŠB – TUO. 2005. 137 s.
- [13] STEHLÍK. P., KOHOUTEK J., NĚMČANSKÝ J., *Tepelné pochody: výpočet výměníku tepla*. 1. Vydání první. Brno: VUT Brno. 1991. 129 s.
- [14] КЫТАТЕЛИАЛДЗЕ. С.С., *Теплопередачи и гидродинамическое сопротивление*. 1990. 365 s. ISBN 5-283-00061-3

#### Internetové zdroje

- [15] WIKIPEDIE – *Výměníky tepla* [online]. [cit. 2012-06-13]. Dostupný z WWW: [http://translate.google.cz/translate?hl=cs&langpair=en%7Ccs&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Heat\\_exchanger](http://translate.google.cz/translate?hl=cs&langpair=en%7Ccs&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger)
- [16] ZVUENGINEERING – *Tepelné výměníky* [online]. [cit. 2013-02-20]. Dostupný z WWW: [http://www.zvuengineering.cz/files/cz/brozury/Tepelne\\_vymeniky\\_brozura\\_revize\\_0.pdf](http://www.zvuengineering.cz/files/cz/brozury/Tepelne_vymeniky_brozura_revize_0.pdf)
- [17] ČVUT – *Tepelné procesy ústav procesní a zpracovatelské techniky* [online]. [cit. 2012-03-25]. Dostupný z WWW: [http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/4rocnik/tpo/i\\_tpo.htm](http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/4rocnik/tpo/i_tpo.htm)
- [18] PHILONNET - *Modelace tepelného zatížení výměníku tepla* [online]. [cit. 2012-12-16]. Dostupné z WWW: [http://www.philonnet.gr/img/consulting/heat\\_exchanger\\_large.jpg](http://www.philonnet.gr/img/consulting/heat_exchanger_large.jpg)
- [19] PARKER – *Měřicí a regulační technika* [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupný z WWW: <http://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.005db0d83405a82228323e10237ad1ca/?vgnextoid=991880961f66e010VgnVCM1000000308a8c0RCRD&vgnnextfm=t=CS>
- [20] TECHSEAL – *Bezazbestová těsnění* [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: [http://techseal.cz/?lang=cz&cont=sortiment\\_bezazbestova](http://techseal.cz/?lang=cz&cont=sortiment_bezazbestova)



- [21] METRA ŠUMPERK – Teploměry a manometry [online]. [cit. 2012-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.metra-su.cz/index.php?a=cat.17>
- [22] E-ČERPADLA - Indukční průtokoměry COMAC CAL [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.e-cerpadla.cz/indukcni-prutokomery-comac-cal-c-154.html>
- [23] ČVUT – Schéma spirálového výměníku [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupný z WWW: <http://fsinet.fsid.cvut.cz/cz/U218/peoples/hoffman/PREDMETY/ZSVZ/Fotografie.htm>

## 10. Seznam obrázků

Obr. č. 1. Výměník tepla s pevnými trubkovnicemi

Obr. č. 2. Schéma výměníku s plovoucí hlavou

Obr. č. 3. Trubkové výměníky s U-trubkami

Obr. č. 4. Trubkový výměník nerozebíratelné provedení

Obr. č. 5. Trubkový výměník rozebíratelné provedení

Obr. č. 6. Konceptuální diagram desky a rámu výměníku tepla

Obr. č. 7. Schematický nákres na výměníku tepla spirály

Obr. č. 8. Průběh teplot v souprůdném a v protiprůdném výměníku tepla

Obr. č. 9. Model transformačního procesu

Obr. č. 10. Funkční struktura – blokové schéma

Obr. č. 11. Funkční struktura – hierarchický funkční strom

Obr. č. 12. Hrubá stavební struktura výměníku s nahlížecím otvorem

Obr. č. 13. Hrubá stavební struktura výměníku bez nahlížecího otvoru

Obr. č. 14. Čistá stavební struktura výměníku s nahlížecím otvorem

Obr. č. 15. Čistá stavební struktura výměníku bez nahlížecího otvoru

Obr. č. 16. Schéma rozložení rychlosti a vstupu a výstupu plynu a vody ve výměníku

Obr. č. 17. Schéma průběhu teplot u protiproudu

Obr. č. 18. Schéma víceúčelového výměníku s popisem

Obr. č. 19. Schéma jednoúčelového výměníku s popisem

## **11. Seznam příloh**

Příloha 1 – Tab. č. 7. Hodnoty součinitele místních ztrát  $\xi$

Příloha 2 – Obr. č. 20. Průběh proudění vody u víceúčelového výměníku bez kanálu.

Příloha 3 – Obr. č. 21. Průběh proudění vody u víceúčelového výměníku s kanálem.

Příloha 4 – Obr. č. 22. Průběh proudění vody u jednoúčelového výměníku bez kanálu.

Příloha 5 – Obr. č. 23. Průběh proudění vody u jednoúčelového výměníku s kanálem.

Příloha 6 – Obr. č. 24. Rozložení teplotního pole na víčku jednoúčelového výměníku

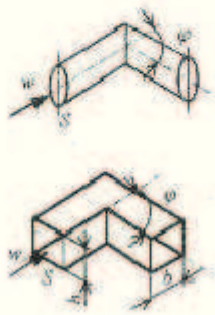
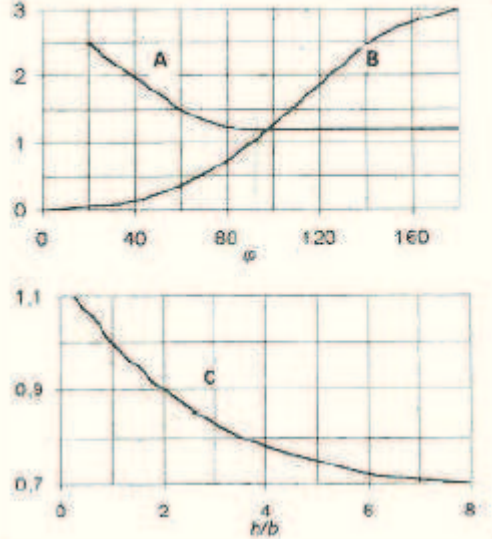
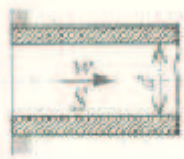

Příloha 7 – Obr. č. 25. Rozložení teplotního pole na víčku víceúčelového výměníku


Příloha 8 – Výkres SN1 – VYM – 01

Příloha 9 – Výkres SN1 – VYM - 02

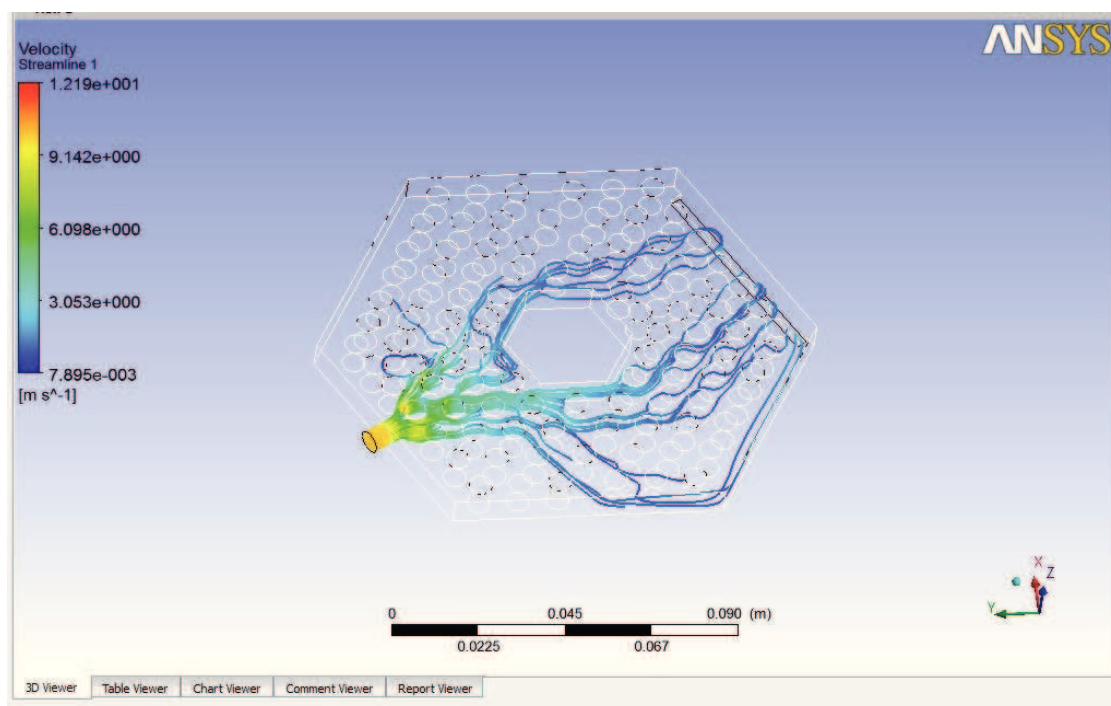
# Přílohy

## Příloha 1

Druh místního odporu, schéma	Hodnota ztrátového součinitele
<p>Koleno s ostrým zaoblením</p> 	
<p>Vtok do trubky s ostrou hranou</p> 	$\zeta = 0,5$
<p>Vtok s náhlým rozšířením průřezu</p> 	$\zeta = 1 - \left( \frac{S}{S_1} \right)^2$

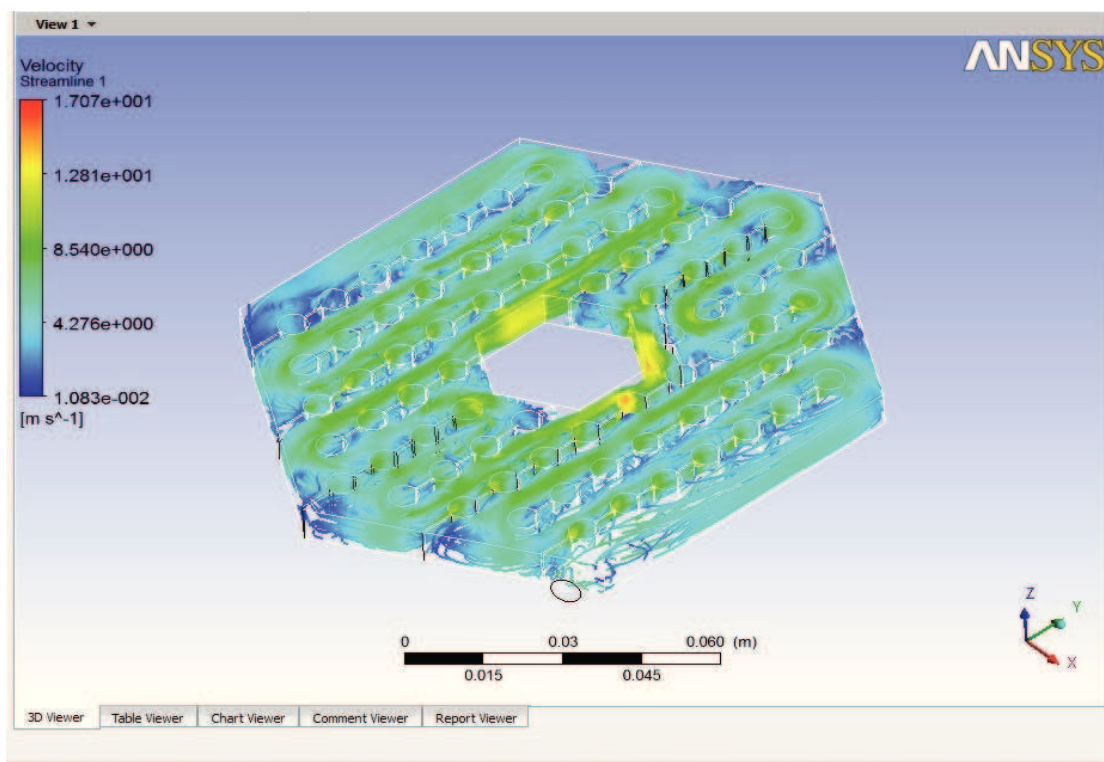
<p>Vtok s náhlým zúžením průřezu</p> 	$\zeta = 0,5 \cdot \left( 1 - \frac{S}{S_1} \right)$
--	--

## Příloha 2



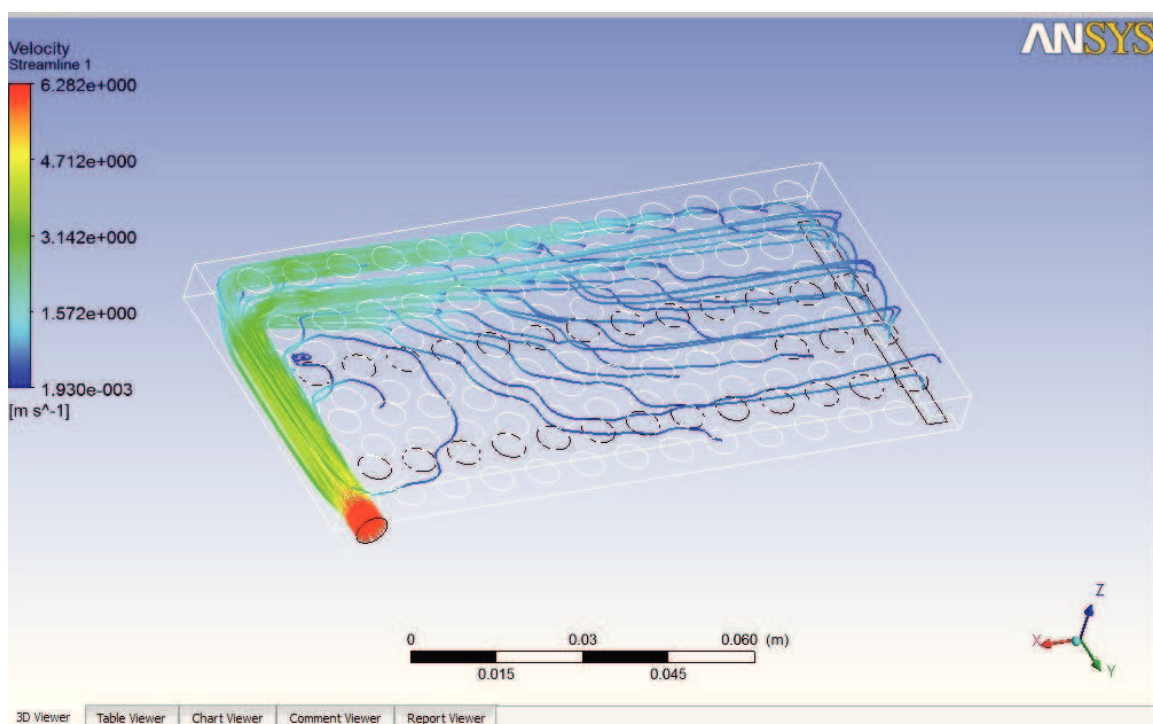
Obr. č. 20. Průběh proudění vody u víceúčelového výměníku bez kanálu.

## Příloha 3



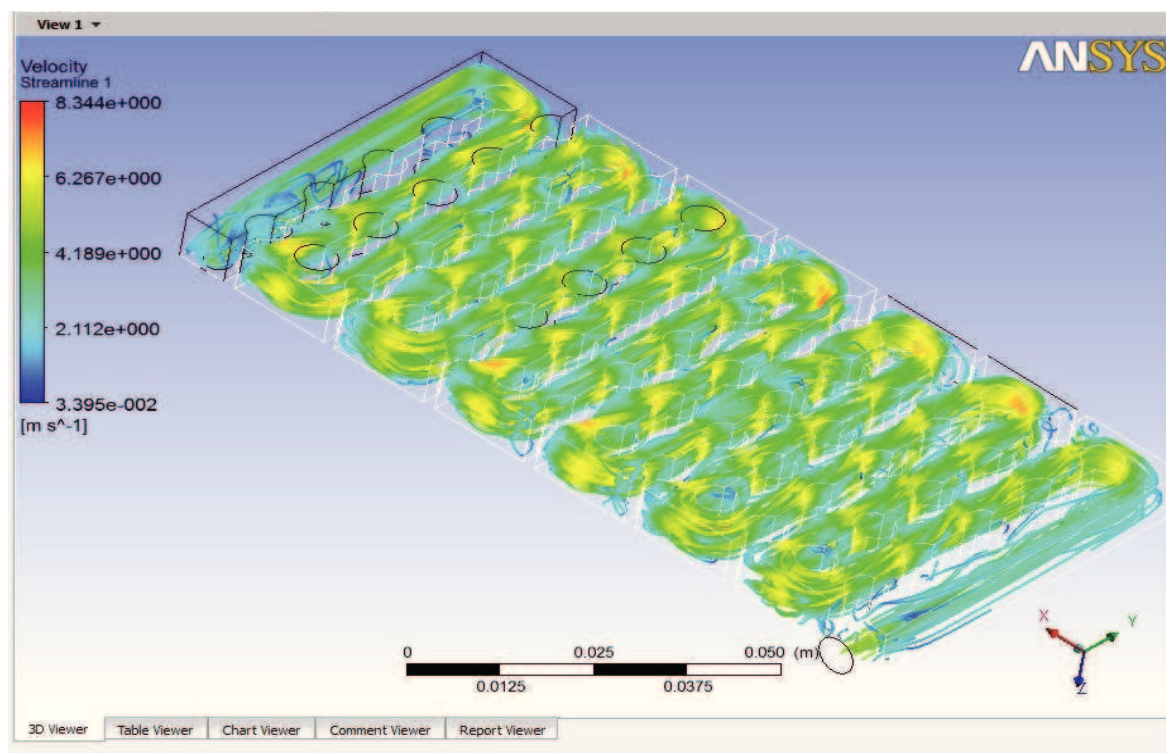
Obr. č. 21. Průběh proudění vody u víceúčelového výměníku s kanálem.

## Příloha 4



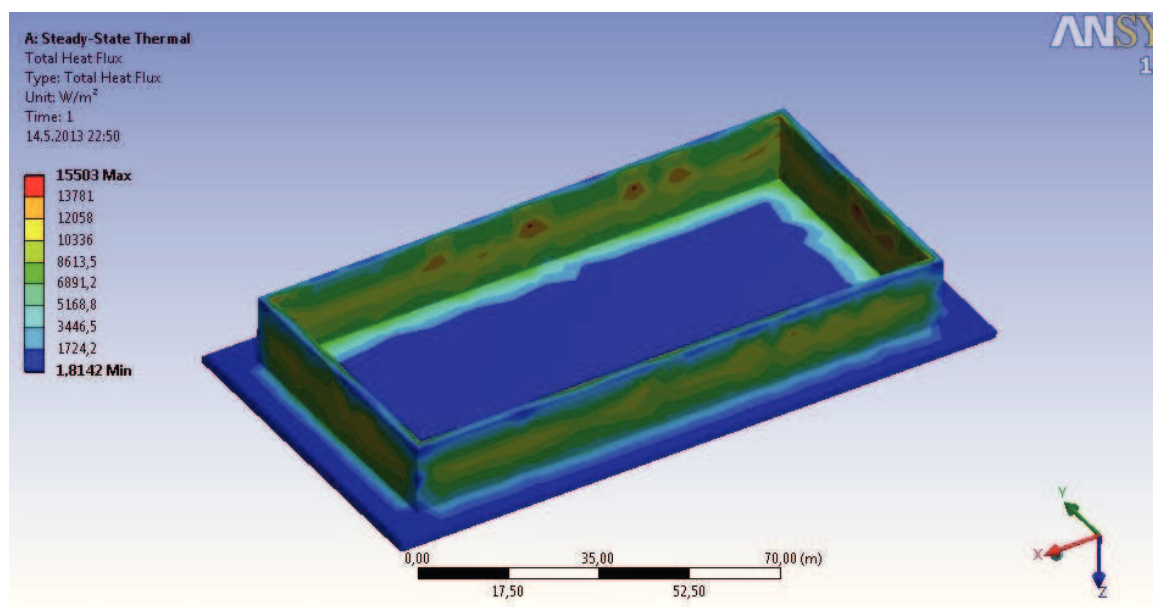
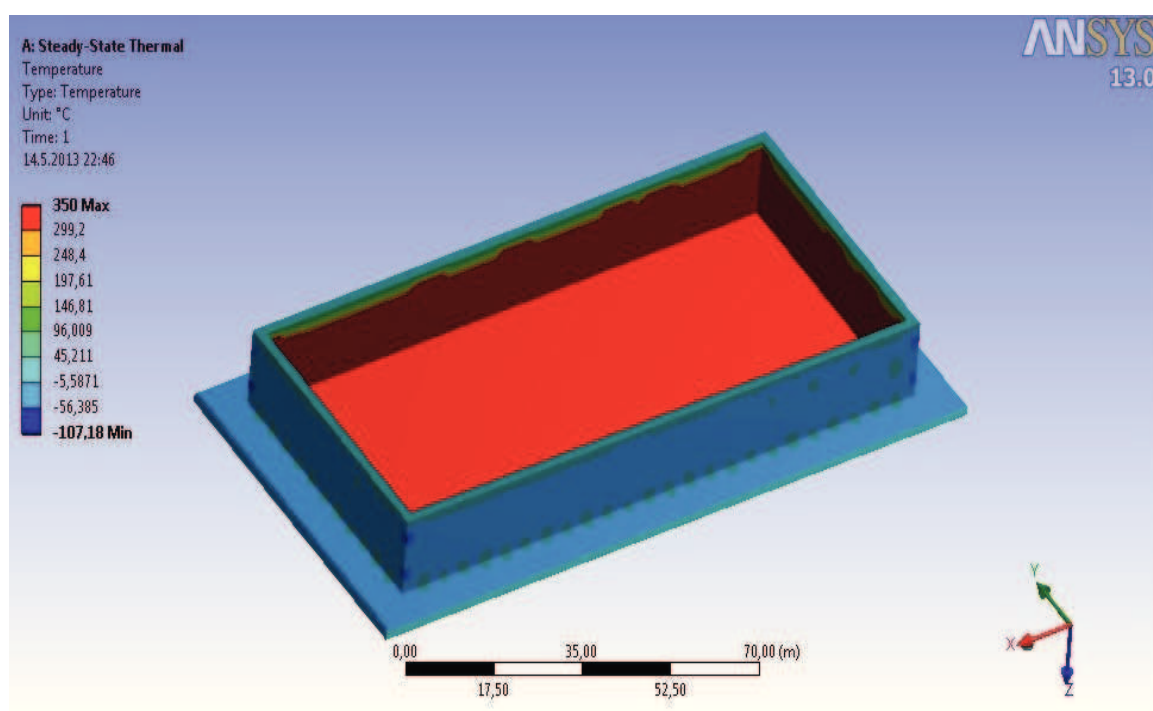
Obr. č. 22. Průběh proudění vody u jednoúčelového výměníku bez kanálu.

## Příloha 5



Obr. č. 23. Průběh proudění vody u jednoúčelového výměníku s kanálem

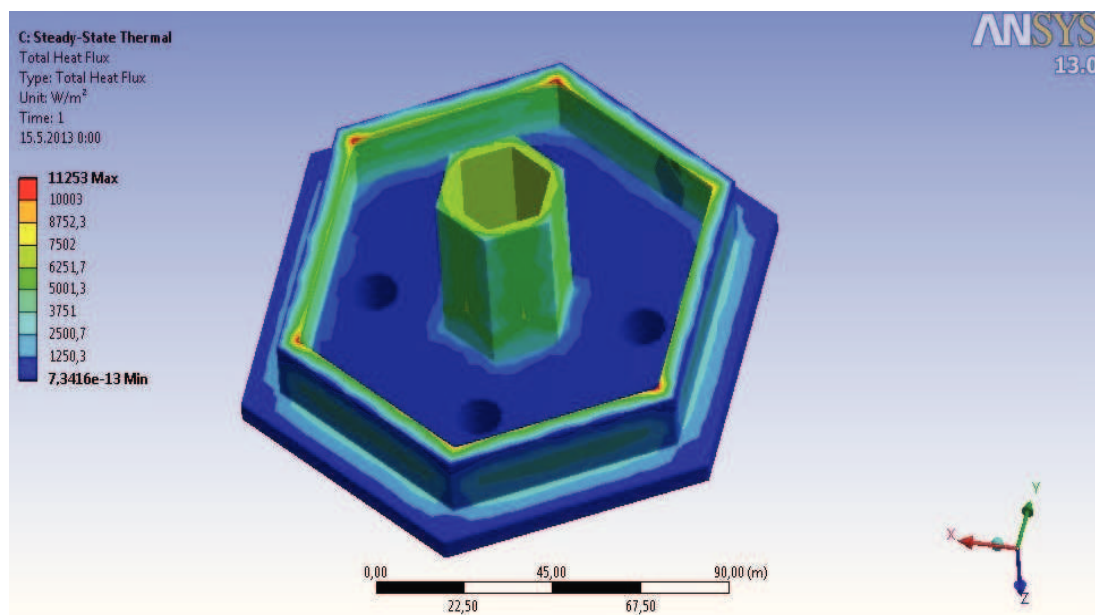
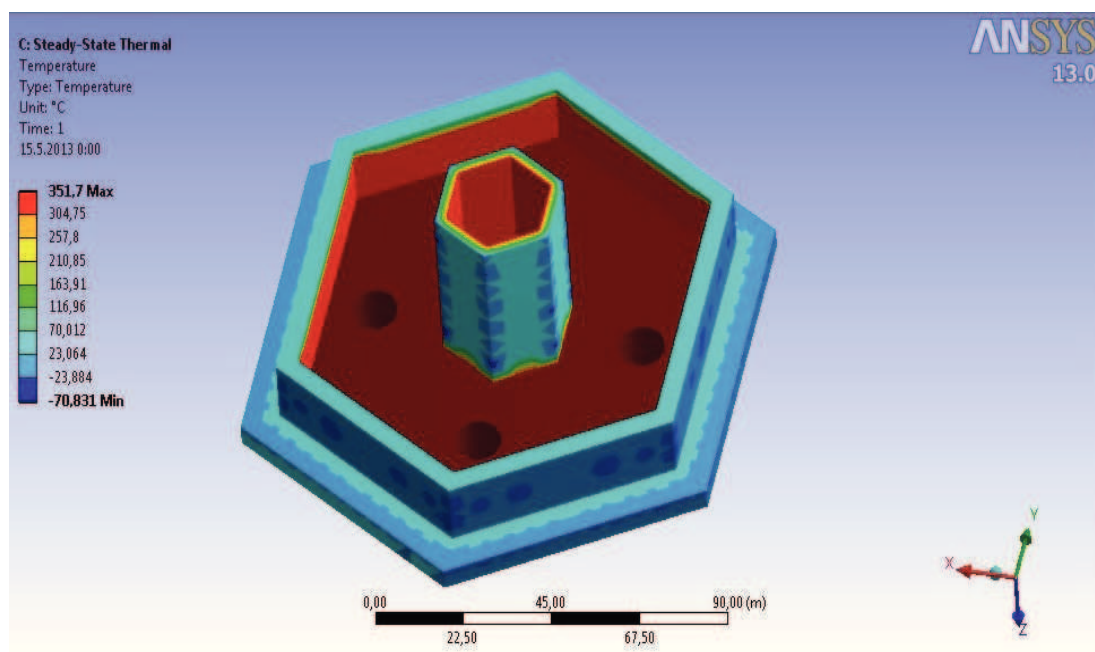
## Příloha 6



Obr. č. 24. Rozložení teplotního pole na víčku jednoúčelového výměníku



## Příloha 7



Obr. č. 25. Rozložení teplotního pole na víčku víceúčelového výměníku